

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
CARRERA DE ARQUITECTURA

PANEL PREFABRICADO A BASE DE FIBRAS NATURALES

Trabajo previo a la obtención del título de Arquitecto

Autor

Bolívar Andrés Peña Romero.

Director

Arq. Edgar Patricio Hidalgo Castro.

Julio de 2016
Cuenca - Ecuador



Universidad de Cuenca



RESUMEN

En este trabajo de investigación, se diseñó y desarrollo un panel prefabricado para aplicaciones arquitectónicas, compuesto por fibras naturales. El panel fue elaborado a partir de una mezcla de fibras vegetales de tamo de arroz y cabuya, con partículas de arena silícea, los cuales, están aglomerados con una resina de silicato de sodio. La mezcla de estos materiales tiene buenas propiedades de trabajabilidad, compactación y con la aplicación de dióxido de carbono CO₂, esta mezcla se solidifica rápidamente. Esta técnica, facilita el proceso de producción en serie de los paneles prefabricados de fibras naturales.

A través del moldeo con una prensa manual, se obtuvieron paneles con buenas propiedades y características de resistencia, módulo de ruptura, densidad y contenido de humedad; además de tener medidas modulares, texturas de agradable aspecto superficial y criterios de reversibilidad. Los paneles también presentan favorables cualidades de aislamiento térmico y acústico. Sus aplicaciones y utilidades son para revestimiento en espacios interiores de: muros, cielo raso y tabiquería liviana o decorativa. Finalmente se generó una propuesta de instalación de los paneles, utilizando de igual forma recursos renovables y sostenibles.

Palabras Clave: Panel prefabricado, fibras naturales, aislamiento térmico y acústico, recursos renovables, sostenible.

ABSTRACT

This research work, presents a design and developed of a prefabricated panel for architectural applications, made by natural fibers. The panel was made with a blend of vegetable fibers of rice shells and straw with siliceous sand particles, these components are agglomerated by a silicate of sodium resin. The mixture of these materials has good properties of workability, compression and with the application of dioxide of carbon CO₂, this mixture get hardens quickly, The technique turns in a easy process of serial production of the prefabricated panels of natural fibers .

Across the molding with a manual press, panels got good properties of resistance, module of rupture, density and humidity content; and also have modular measurements, nice textures with comfortable aspect and criteria of reversibility. The panels also present good qualities of thermal and acoustic isolation. The applications and utilities of the panels are for inside covering of: walls, ceiling, and decorative or light partition of interior spaces. Finally the research presents a proposal of installation of the panels, using the same form of renewable and sustainable resources.

Key words: Prefabricated panel, natural fibers, thermal and acoustic insulation, renewable resources, sustainable.



ÍNDICE

OBJETIVOS.	11	3	DESARROLLO EXPERIMENTAL.	61
INTRODUCCIÓN.	13	3.1	Paneles prefabricados con fibras naturales.	63
		3.2	Normas técnicas.	64
		3.3	Parámetros físico – mecánicos.	64
1	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.	3.4	Prediseño y proceso de producción.	67
		3.5	Diseño del panel prefabricado.	77
1.1	Sistemas constructivos y desarrollo sostenible.	3.6	Análisis de parámetros físico-mecánicos del panel.	81
1.2	Fibras vegetales en la arquitectura tradicional.	3.7	Análisis de aislamiento termo-acústico del panel.	83
1.3	Energía y eco materiales.	3.8	Prueba de aislamiento térmico.	86
1.4	Sistemas constructivos tradicionales.	3.9	Prueba de aislamiento acústico.	95
1.5	Sistemas prefabricados modulares.	3.10	Pruebas de campo.	98
1.6	Productos aislantes termo-acústicos.	3.11	Solución constructiva de instalación del panel.	101
1.7	Análisis y conclusiones.	3.12	Beneficios y usos del panel prefabricado de fibras naturales.	105
		3.13	Análisis de evaluación medio ambiental del panel.	112
2	ESTUDIO DE MATERIALES.	4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	115
		4.1	Conclusiones.	117
2.1	Información fundamental sobre materiales.	4.2	Recomendaciones.	119
2.2	Materiales aglutinantes.			
2.3	Materiales estabilizadores.			
2.4	Materiales lignocelulósicos.			
2.5	Fibra vegetal del tamo de arroz.			
2.6	Pruebas de inmunización de fibras vegetales.			
2.7	Mezcla y combinación de materiales.			
			BIBLIOGRAFÍA Y CRÉDITOS	120
			ANEXOS	125



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Bolívar Andrés Peña Romero, autor de la tesis "Panel prefabricado a base de fibras naturales", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Arquitecto. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 15 de julio del 2016

Bolívar Andrés Peña Romero

C.I: 0103929600



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Bolívar Andrés Peña Romero, autor de la tesis “Panel prefabricado a base de fibras naturales”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 15 de julio del 2016

Bolívar Andrés Peña Romero

C.I: 0103929600



DEDICATORIA

A mis Padres, por su cariño y comprensión incondicionales;
a mis hermanos Silvia, Diana y Felipe;
a mis sobrinos Sebas, Natali, Jared
y a mi Kely.



AGRADECIMIENTOS

A los profesionales y docentes que compartieron sus conocimientos, guiaron y apoyaron durante este proceso.

A mis amigos y compañeros, especialmente a Felipe Peña que me apoyaron para llegar a la culminación de estos estudios, por su ayuda a superar innumerables anécdotas y por su generosidad intelectual propia de nuestra formación.



OBJETIVOS

General:

- Diseñar y construir un panel prefabricado, como elemento constructivo, a partir de las fibras vegetales del tamo de arroz.

Específicos:

- Identificar y analizar los sistemas constructivos que incorporan fibras vegetales.
- Estudiar las características y propiedades del tamo de arroz y analizar alternativas de estabilizadores y aglutinantes aptos para combinar con este material.
- Diseñar y desarrollar un panel prefabricado, el cual será sometido a ensayos físico-mecánicos de acuerdo a normas técnicas.
- Determinar los beneficios y usos del panel propuesto.



Universidad de Cuenca



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación plantea la utilización de recursos como las fibras naturales para la elaboración de paneles prefabricados que pueden ser utilizados como elementos constructivos. Frente a la necesidad de desarrollar ideas o propuestas que pueden ser utilizadas para contribuir a la disminución del impacto negativo causado por algunos materiales de construcción comúnmente utilizados en nuestro medio como son, los bloques de hormigón, ladrillos cerámicos, etc. que en su fabricación causan contaminación al medio ambiente y generan muchos desperdicios al momento de su instalación. En los últimos años han surgido tendencias como la arquitectura verde o ecológica que trata de contrarrestar los efectos de la contaminación de los materiales de construcción comunes, por medio de la utilización de materiales ecológicos y tradicionales, también estas tendencias optimizan la utilización de recursos y técnicas constructivas como la arquitectura bioclimática.

Se han realizado múltiples investigaciones en las que se incorporan fibras naturales y vegetales, como elementos constructivos estructurales o decorativos, dado sus características físicas y sus ventajas como aislantes termoacústicos, de fácil obtención y bajo costo. Se han utilizado materiales como el bambú, bagazo de caña, cascara de maní entre otros, para la producción de diferentes elementos constructivos para tableros o elementos de

relleno. En esta investigación se plantea el objetivo de aprovechar productos naturales, tales como el tamo de arroz, que es un residuo agroindustrial, para la fabricación de paneles que pueden ser utilizados como elementos constructivos. Existen ya antecedentes sobre la utilización de estas fibras de tamo de arroz, en los que se estudia sus propiedades y su factibilidad como materia prima para la construcción, debido a su alto contenido de sílice y sus características de aislamiento. Actualmente el residuo de tamo de arroz es un recurso abundante, que no es aprovechado adecuadamente en el Ecuador.

De esta manera, a partir del estudio de diferentes materiales que pueden combinarse con el tamo de arroz se determinó la mezcla base para el desarrollo y diseño final del panel prefabricado compuesto por fibras naturales obteniendo así medidas modulares, texturas de agradable aspecto superficial, criterios de reversibilidad y adecuadas características de resistencia mecánica no estructural, similares a los productos prefabricados como el yeso cartón y los tableros de partículas aglomeradas. Por lo cual, se presenta este producto como una alternativa sostenible en la conformación de elementos constructivos desde el punto de vista tecnológico y arquitectónico.

CAPITULO 1

SISTEMAS

CONSTRUCTIVOS





Universidad de Cuenca

1.1 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Desde los inicios de la humanidad, el hombre ha utilizado los materiales y recursos que encuentra en el medio ambiente para poder construir su vivienda, así ha logrado cumplir su necesidad de refugio y protección. Para el desarrollo en la construcción de edificaciones, ha tenido un criterio racional aprovechando los recursos locales de fácil obtención, por lo cual, desde la antigüedad se han utilizado materiales naturales como la tierra y las fibras vegetales. Hoy en día estos materiales naturales son muy poco utilizados y han empezado a ser reemplazados por materiales industrializados. Por lo general, las construcciones modernas están estructuradas de hormigón armado y de ladrillos de arcilla cocida con acabados de cerámica y materiales sintéticos, ésta ha sido la tendencia en el mundo y en nuestro país desde mediados del siglo XX.¹

Los materiales modernos como el cemento, el hierro, el bloque y ladrillos industriales etc., han permitido disminuir tanto los costos y el tiempo en la construcción así como espesores y mejorar sus propiedades de resistencia mecánica en muros y entrepisos, sin embargo, estos materiales requieren una gran cantidad de energía para su producción, causando un impacto negativo al ambiente, ya que generan gran cantidad de desperdicios. Algunos de estos materiales como el ladrillo y las tejas son ya milenarios, los cuales han sido probados a

lo largo de los tiempos, mientras que otros como el concreto y el hierro son más recientes. Es con la revolución industrial que se empezaría su fabricación y utilización a gran escala, por lo cual estos sistemas de construcción se han impuesto actualmente.

Los sistemas constructivos tradicionales utilizan materiales y recursos naturales, logrando un equilibrio con el medio ambiente. En algunos países se realizan investigaciones y se fomenta el uso de elementos naturales tradicionales para diseños arquitectónicos. Por ejemplo en América Latina hay programas para recuperar el adobe, el bahareque, o el uso del bambú, mientras que en Norteamérica y Europa hay también construcciones o refugios en los que se utiliza principalmente madera y fardos de paja.

Las condiciones actuales en el ámbito de la construcción de edificaciones demandan de los materiales, mejores condiciones de resistencia, acabados, costos, etc., buscando estándares de calidad y confort apropiados. Si no se tiene conciencia del impacto ecológico de algunos materiales comunes, de la explotación de recursos y de la contaminación que generan, se tendría problemas ambientales en el futuro. Es por estas razones, que se debe apoyar y generar proyectos de investigación de tecnologías sostenibles.



I 01. Vivienda sostenible con paja.

Fuente: Andrés Martín

¹ Payá, Miguel . Aislamiento térmico y acústico. Barcelona: Ediciones CEAC, 1976:9.



I 02. Fibras vegetales.

Fuente: construcciondevivienda.wordpress.com

1.2 FIBRAS VEGETALES EN LA ARQUITECTURA TRADICIONAL

El desarrollo de los sistemas constructivos siempre ha estado en un constante estado de evolución, por el deseo y necesidad de transformar nuestro contexto natural en espacios arquitectónicos. “*La idea de usar fibras vegetales para producir materiales útiles para el hombre es bastante antigua*”², cuando en la arquitectura tradicional siempre encontramos presentes a las fibras vegetales. Hoy en día las construcciones tradicionales han disminuido por la sustitución de materiales y técnicas naturales con materiales y tecnologías modernas, pero aún siguen siendo valoradas en cierta medida por la identidad cultural que representan, además de su valor ornamental. De esta manera, se restauran y crean nuevas edificaciones siguiendo técnicas tradicionales y, por otro lado, algunas técnicas y materiales tradicionales son utilizados también en aplicaciones decorativas, como es el caso del bambú. La necesidad y la conciencia de preservar el medio ambiente, exige establecer conceptos ecológicos en la arquitectura, por lo que se retoma las técnicas y saberes tradicionales, así como el estudio de sus materiales, principalmente las fibras vegetales.

Dicho esto, se puede asegurar que las fibras vegetales constituyen una materia prima base en la mayoría sistemas constructivos tradicionales, como el adobe, el bahareque, etc, las mismas que ayudan en gran medida a la conformación y estructura de los materiales. La historia del uso de las fibras vegetales se remonta a la época pre-neolítica, donde se cree que los primeros habitantes utilizaron estos materiales naturales para construir

sus refugios y viviendas ³. En la actualidad podemos encontrar ejemplos de construcciones de viviendas que podrían ser similares a la época Neolítica, por ejemplo, en sociedades aborígenes. En la Amazonía ecuatoriana ocurre esta similitud en el uso de técnicas y materiales naturales en la que se utiliza pórticos y estructuras de madera que pueden ser troncos y ramas que se unen mediante fibras vegetales que componen diferentes entramados. Igualmente, en la cubierta se utilizan recubrimientos con ramas, hojas o paja. En algunas construcciones tradicionales, ordinariamente se aprecian estructuras y recubrimientos con madera o bambú y cubiertas revestidas con paja.

En todos los países y regiones se encuentran estos procesos constructivos que integran fibras vegetales, que son el resultado de conocimientos populares y ancestrales. En Latinoamérica, encontramos sistemas constructivos comunes para cada región climática como los que ya hemos mencionado anteriormente, que se componen de materiales tradicionales y técnicas ancestrales que han logrado modelos con sostenibilidad energética y confort para climas fríos y cálidos. En nuestro país, existe una gran variedad biológica, por lo cual, la región cuenta con un sinnúmero de fibras de origen vegetal tradicionalmente utilizadas para construcción. Los sistemas constructivos tradicionales en Ecuador se basan principalmente en el barro para las zonas andinas y en construcciones de madera, bambú y otras fibras vegetales para las áreas de la costa y Amazonia. Las fibras naturales que comúnmente se utilizan en los sistemas constructivos locales son: La paja, la cabuya, el fique, el carrizo, la totora, el bambú o caña guadua, etc.

2 Cobreros, Carlos. Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2009.

3 Hayon, Jaime. Las Fibras Vegetales en la Construcción. 2011. <https://interioresymas.wordpress.com/2011/12/16/las-fibras-vegetales-en-la-construccion/> (último acceso: 15 de noviembre de 2015).

Todos estos sistemas tradicionales son muy eficientes y de bajo consumo energético, y se puede notar que las fibras vegetales demuestran su capacidad para estabilizar y mejorar las características térmicas y acústicas de los materiales utilizados en los procesos constructivos, en la imagen 03 se puede apreciar la Isla de los Uros construida completamente con fibras de totora sobre el lago Titicaca. En América Latina, las actividades agrícolas generan diferentes residuos no valorizados que fusionados con otros conforman recursos naturales en forma de biomasa vegetal, convirtiéndose en componentes fundamentales para materiales de construcción. Estos componentes no solo tendrían la capacidad de suplir, mediante una explotación sostenible, a materiales costosos o sintéticos, si no que podrían convertirse en materia prima aislante capaz de mejorar las características térmicas de los componentes constructivos tradicionales⁴.

Por lo tanto, en esta investigación se ha estudiado la utilización de estas fibras naturales en los sistemas tradicionales, con el objetivo de analizar los procesos y técnicas constructivas en los que se puede basar la construcción del panel que se ha desarrollado en el presente trabajo.

1.2.1 CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LAS FIBRAS VEGETALES

Las fibras vegetales son estructuras delgadas y alargadas, y una de sus utilidades es la de formar parte en edificaciones tradicionales. Por lo general, estas permiten sostener el material de construcción, como es el caso del adobe, que está elaborado con barro y paja para formar bloques y paredes que constituyen elementos importan-

tes en la vivienda. Otra de sus aplicaciones importantes corresponde a la utilización de amarre o uniones de elementos pequeños, tales como la madera, el carrizo y la caña guadúa. Las fibras vegetales con mayores prestaciones son aquellas obtenidas de los tallos y de las hojas, como por ejemplo, la cabuya que es obtenida del penco. Las fibras naturales requieren ser procesadas e inmunizadas si se necesita más durabilidad. Actualmente, las fibras naturales son sustituidas por fibras sintéticas, causando impactos negativos en el medio ambiente.

Una de las ventajas principales de utilizar estos materiales naturales, es el bajo nivel de procesamiento que requieren y su impacto positivo en el medio ambiente para obtener de esta manera una construcción sostenible, *“Ecuador posee cerca de 25 mil especies de plantas vasculares que lo convierten en la nación con el mayor número de plantas por unidad de área en América Latina”*⁵. Así podemos considerar que Ecuador contiene un gran potencial en cuanto a fibras naturales. Las principales ventajas de las fibras vegetales en los sistemas constructivos que podemos citar son:

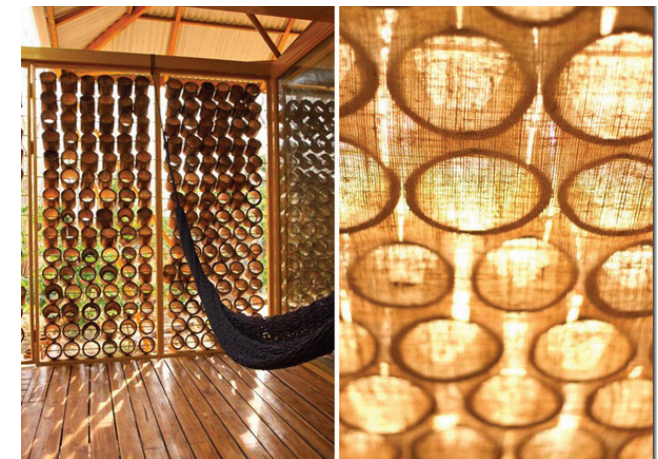
- Buena resistencia estructural.
- Es un material liviano y flexible.
- Es un recurso renovable.
- Aislamiento térmico y acústico.
- Tiene una apariencia agradable y confortable.
- Ofrece diferentes formas de ser utilizada.

Las desventajas que se presentan en estos materiales son su corta duración, fragilidad, y son propensos a quemarse, según el tipo de fibra.



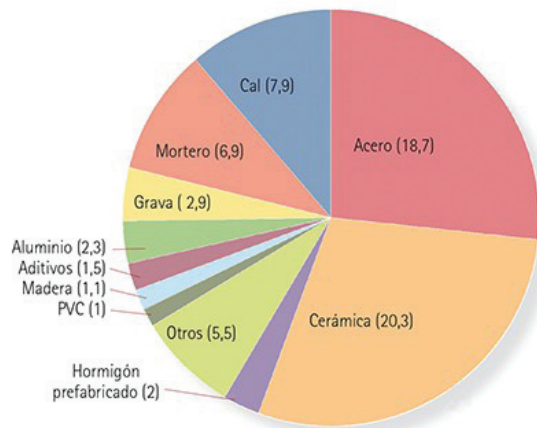
I 03. Isla de los Uros, Perú.

Fuente: Autor



I 04. Decoración con elementos vegetales. Fuente: interioresymas.wordpress.com

- 4 Velasco, Luis. «Investigación y desarrollo de aislantes térmicos naturales basados en residuos de biomasa para su aplicación en la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones en América Latina.» ESPE. 2015. <http://luisvelascoroldan.com/?p=1326,%20Noviembre%202015> (último acceso: 2 de diciembre de 2015).
- 5 Simbaña, Andrés. «Fibras naturales y residuos agroindustriales. Fuente sostenible de materia prima.» Axioma, 2010.



I 06. Contribución de los materiales necesarios para la construcción de 1 m² sobre las emisiones de CO₂ asociadas a su fabricación.

Fuente: Wadel, et.al 2007, en. www.ecohabitar.org

1.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

En la arquitectura tradicional, habitualmente se han utilizado materiales locales como el adobe, la madera, el carrizo etc. Actualmente el incremento del uso de los materiales industriales como el cemento, el aluminio, el hormigón, el PVC, etc han causado un aumento considerable de los costos energéticos y medioambientales. Según la fundación CIRCE (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos) de la Universidad de Zaragoza; los impactos medioambientales de la construcción de edificaciones se podrían reducir considerablemente incentivando el uso de materiales renovables o reciclados de la biosfera, como la madera, las fibras animales y vegetales, las pinturas y barnices naturales con bajo nivel de procesamiento industrial. Ya que, en la producción de estos materiales o recursos, la energía necesaria proviene del Sol. ⁶

Según el Ecohabitar, cada metro cuadrado construido conlleva una emisión media de 0,5 toneladas de CO₂, considerando solamente el impacto asociado a los materiales. La Imagen 06 muestra la contribución relativa de los materiales de construcción comunes. En la actualidad, hay métodos de evaluación medioambientales que buscan calificar sistemas de construcción sostenibles. Los métodos fueron creados por distintas organizaciones internacionales; evalúan principalmente, el impacto ambiental que tiene una edificación, mediante estándares y esquemas; considerando etapas de construcción y ciclo de vida de sus materiales. Los métodos más utilizados son el BREEAM, LEED y CASBEE entre otros.

1.3.1 ENERGÍA Y ECO MATERIALES.

Se entiende por energía a todo fenómeno físico capaz de producir calor, luz, movimiento, etc., así se clasifica a la energía en renovable y no renovable. Dentro de los productos y energías renovables tenemos: el viento, el sol, las olas y otras como es la fuerza animal, todas estas son energías limpias pero limitadas y temporales. Mientras que la energía obtenida de combustibles fósiles como el petróleo, gas y carbón son energías no renovables. Todo material de construcción y materia prima demanda de energía para ser producida desde su extracción, procesamiento y transporte. Por lo cual, se tiene el concepto; de que a mayor energía usada, mayor emisión de CO₂ a la atmósfera. Desde este principio se presenta una serie de efectos y fenómenos en cadena que están interrelacionados como el efecto invernadero, el calentamiento global, el cambio climático y los desastres naturales.

Para hacer una valoración del impacto ambiental de un material de construcción, se puede analizar desde dos puntos; el primero por la energía incorporada en el material, desde la extracción de la materia prima, procesamiento, transporte, etc.; y el segundo por el ciclo de vida del material desde su fabricación hasta su descomposición o disposición final. Por tanto, por cada kilogramo de material fabricado se emite cierta cantidad de CO₂ a la atmósfera y a mayor ciclo de vida más tiempo tarda el material fabricado en descomponerse y volver a la tierra causando contaminación. En consecuencia, se considera que la energía es la clave, para el futuro de nuevos materiales y procesos sostenibles.

⁶ CIRCE. «Eco Habitar.» Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida. 13 de enero de 2014. <http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/> (último acceso: 30 de junio de 2016).

Según diversos estudios realizados se estima que la industria de la construcción es responsable del calentamiento global en un 50% . En los estudios realizados en la Universidad Católica de Guayaquil por el Arq. Jorge Moran, se ha desarrollado los llamados Eco materiales definiéndolos como “*materiales de construcción viables, tanto en el aspecto ecológico como económico*”⁷. Siguiendo esta definición de eco material a más de ser accesibles, económicos y de contener una baja energía contenida es importante mencionar la capacidad de acoplarse con otros materiales y tener un aspecto estético positivo.

De esta manera la composición ideal de un eco material es de un 80 a 90 % compuesto por materiales tradicionales como: tierra, bambú, madera, fibras, hojas etc. y un 10 a 20% compuesto por materiales modernos como: el acero, cemento, aluminio, vidrio u otros, de acuerdo con el uso facilitando sistemas y soluciones constructivas como se observa en el Grafico 1. Así se pueden obtener materiales con un alto nivel de sostenibilidad con cuatro características fundamentales de ser eficientes, amigables, económicos y sociales.

1.3.2 MÉTODO DE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.

El método más adecuado para poder evaluar el impacto ambiental de un material o sistema constructivo, es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Los materiales de construcción inciden en el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida pasando por distintas fases, empezando por la extracción y procesamiento de materias primas, por la producción y fabricación del material, luego por la del

empleo y uso racional del material, y por último el final de su vida útil. El método BREEAM es el procedimiento que evalúa si las procedencias de todos los materiales poseen eco-etiquetas, en cuanto a la adquisición de materiales para proyectos sostenibles.

Existen procedimientos normalizados para evaluación medioambiental como la norma técnica colombiana NTC-ISO 14024 “*Etiquetas y declaraciones ambientales. Etiqueta ambiental Tipo I. Principios y procedimientos*”⁸. Uno de sus principales objetivos es promover el uso y desarrollo de procesos, técnicas y tecnologías limpias y sostenibles. Para lo cual, otorgar eco-etiquetas a los productos, con un enfoque integral del producto, considerando criterios ambientales del ciclo de vida; para esto identifica y enlaza los aspectos ambientales, las etapas del ciclo de vida del material o producto y sus emisiones al suelo, aire y agua. De esta manera, se puede evaluar los criterios ambientales del producto, pasando por las siguientes etapas:

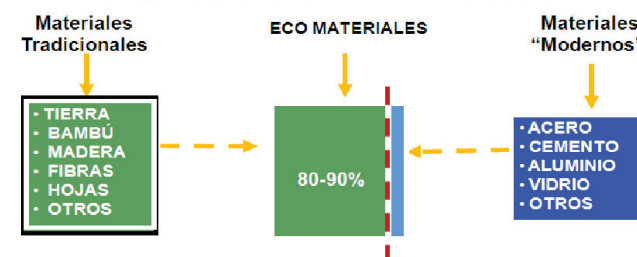
- Extracción de recursos. Actividades necesarias para la extracción de las materias primas.
- Producción y fabricación. Actividades necesarias para convertir las materias primas.
- Distribución y transporte. Traslado del producto final al cliente.
- Uso y mantenimiento. Utilización del producto acabado a lo largo de su vida en servicio.
- Disposición final. Comienza una vez que el producto ha servido a su función y se devuelve al medio ambiente como residuo.



1 07. Análisis del ciclo de vida (ACV).

Fuente: www.ecointeligencia.com.

Grafico 1: Composición de los eco materiales.



Fuente: Arq. Jorge Morán.

7 Moran, Jorge. «Arquitectura y construcción sostenible.» Ecomateriales para la construcción . 2011. http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/11_UCSG_Eco-materiales-para-la-construcci%C3%B3n_Jorge_Moran.pdf (último acceso: 15 de diciembre de 2015).

8 ICONTEC. Rótulos y declaraciones ambientales. Rotulo ambiental tipo 1. Principios y procedimientos. Bogota: ICONTEC, 2000..



I 08. Secado del adobe al aire libre.

Fuente: interioresymas.wordpress.com



I 09. Casa construida con adobe.

Fuente: arquitecturaholistica.wordpress.com

1.4 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES

Existen algunos sistemas constructivos tradicionales que se constituyen de materiales naturales y poseen buenas características de confort, bajo costo y buenos acabados estéticos, entre los que estudiaremos a continuación están el Adobe, Bahareque, Bloques de Paja y Entramados de Bambú, estos procesos constructivos se basan en la utilización de barro, madera, paja, caña guadua, etc.

1.4.1 EL ADOBE

El Adobe es un material compuesto por arena, arcilla y agua, lo que conforma una masa de barro que es mezclada con paja o hierba seca, para poder estabilizar la mezcla. Es encofrada en forma de ladrillo y secado bajo el sol. El adobe tiene buenas características de aislamiento térmico y acústico, por lo cual es un buen regulador del confort térmico en el interior de la edificación. *“Las construcciones en adobe llegan a tener una durabilidad entre 100 a 200 años”*⁹, dependiendo del grado de protección y mantenimiento.

Las técnicas y procedimientos de instalación del adobe son tradicionales y requiere herramientas convencionales. Los cimientos deben ser de hormigón ciclópeo, más anchos que el muro y normalmente tienen una profundidad de 60cm, es importante un sobre cimiento de 20cm de altura para proteger las primeras hiladas de adobe de la humedad. Para los muros los bloques se disponen traslapándose cada uno, los dinteles pueden ser de madera u otro material resistente, empotrados 50cm a cada lado del vano, para el final del muro se debe colo-

car soleras de madera como vigas de eucalipto, etc. Los muros se revocan con una mezcla de cal y arena para dar una mayor protección al adobe frente a los agentes externos. La estructura de la cubierta se la realiza con madera, no debe apoyarse directamente sobre el muro sino sobre una solera y comúnmente está revestida de teja cerámica, es necesario construir aleros de 0,90 cm de largo o mas, para proteger al muro del agua lluvia¹⁰.

El adobe es una técnica milenaria, utilizada desde la antigüedad en Egipto, y en Latinoamérica en culturas precolombinas, luego este sería el principal sistema constructivo durante la colonia, es comúnmente utilizada en la región andina de Sudamérica, está primordialmente destinado a formar parte de cerramientos y muros en edificaciones, estos pueden tener vanos adintelados y refuerzos de madera en la imagen 09. se puede observar una aplicación moderna de este sistema tradicional.

Este sistema constructivo posee muchas cualidades, como: resistente, económico y un buen aislante térmico y acústico. En nuestra región y en la ciudad de Cuenca, éste ha sido un sistema dominante principalmente en la época republicana. Sus características formales, han permitido que nuestra ciudad sea reconocida como Patrimonio Cultural de la Humanidad, gracias a que la mayoría de edificaciones del centro histórico, fueron levantadas con este sistema constructivo. Actualmente el adobe casi ha desaparecido frente a otros materiales de construcción modernos y las técnicas dominantes a pesar de sus cualidades, pese a todo estos cambios se hacen esfuerzos por recuperarlo y sigue siendo considerado para construcciones tradicionales.

9 Viñuales, Graciela María. «Tecnología y construcción con tierra.» APUNTES, 2007: 220.

10 Viñuales, «Tecnología y construcción con tierra.»:220.

1.4.2 EL BAHAREQUE

“Con los nombres de estanteo, quinchá, bahareque o bajareque, se conoce un sistema consistente en un almacén de maderas o cañas”¹¹. El bahareque es un sistema complejo pero a la vez sencillo, se basa en la construcción de pórticos armados de bastidores de madera, carrizos, ramas o cañas entrelazadas, relleno con barro y luego recubiertas con materiales arcillosos para obtener una superficie lisa. Sin embargo si este material está expuesto a la intemperie se deteriora, y se vuelve menos durable, por lo que se utiliza aleros y protecciones para minimizar su deterioro, puede emplearse en tabiques internos y externos siendo flexible y acoplable a diferentes formas y tamaños, además cuenta con buenas condiciones de aislamiento térmico y acústico.

En la instalación y montaje de la estructura se realiza recurriendo a materiales de la región, el sistema constructivo es simple y no necesita mayormente mano de obra especializada. El Bahareque es una técnica constructiva portante que consiste en la formación de un entramado de elementos verticales y horizontales, normalmente ramas, palos o cañas. En el sistema de entramados cada bastidor de madera debe tener una separación máxima de 1.20m y para los tirillas horizontales se deben dejar espacios entre 10cm a 15cm. Para formar el tabique, a la estructura de entramados se le rellena los espacios medios con la mezcla de barro, finalmente para el acabado se puede tratar a la superficie con un revoque de 2cm que puede ser una mezcla de arcilla, paja y agua. Todo el sistema debe estar aislado de la humedad, con lo que debe estar sobre una estructura de pilotes o sobre

una cimentación corrida de hormigón ciclópeo u otros.

Esta técnica del bahareque también ha sido empleada desde épocas antiguas por poblaciones indígenas en Latinoamérica, posteriormente los colonizadores lo adoptaron y se ha utilizado durante los dos últimos siglos en Ecuador principalmente para construir viviendas y otras edificaciones, adaptándolo a diferentes condiciones ambientales y aprovechando muchos materiales autóctonos. Al igual que el adobe, muchas viviendas de bahareque han sido reemplazadas por técnicas y materiales modernos. En nuestra región esta técnica tendió a construirse al norte en la provincia de Cañar y se lo puede encontrar combinado con otros materiales y sistemas. “Los materiales disponibles y las formas de expresión de las distintas culturas generaron diversas técnicas constructivas que emplearon tierra con exclusividad o en combinación con otros materiales de procedencia animal, vegetal y mineral”¹².

Las características de este sistema constructivo y sus materiales, permiten lograr ambientes confortables para la vida de sus habitantes a la vez que tiene una armonía con el medio ambiente, lo que conforma un buen ejemplo de optimización de recursos, pues se utilizan materiales locales y renovables. Los materiales están sustentados en las estructuras de ramas y bastidores de madera que son los que soportan las cargas y le dan características antisísmicas aunque no tienen propiedades ignífugas, la estructura está complementada con un tramado de fibras vegetales por ejemplo el carrizo, como se observa en la imagen 10., que además le confiere beneficios en cuanto a aislamiento térmico y acústico.



I 10. Muro relleno de barro.

Fuente: Autor



I 11. Vivienda en bahareque.

Fuente: www.dearquitectura.uchile.cl

11 Viñuales, Graciela María. «Tecnología y construcción con tierra.» APUNTES, 2007: 231.

12 Viñuales, «Tecnología y construcción con tierra.»:232.



I 12. Muro con fardos de paja.

Fuente: bioconstruccion.blogspot.com



I 13. Construcción con fardos de paja.

Fuente: www.eoi.es

1.4.3 BLOQUES DE PAJA

Es un sistema constructivo en el cual, el material principal proviene de la agroindustria y es considerado una técnica muy segura. Sus ventajas principales es ser un proceso económico y ecológico. Es un material que tiene además características ignífugas debido a la compresión de las fibras y puede acumular calor, bajo el efecto de masa térmica, pero es propenso a la degradación. *“Las construcciones de fardos de paja hechas cuidadosa y correctamente, son una forma efectiva para superaislar, bajando los costos. Una construcción bien rodeada de fardos de paja funciona térmicamente como una botella sellada al vacío con muy alta eficiencia para mantener el calor o frío almacenado o producido adentro”*¹³.

El método constructivo para edificaciones con bloques o fardos de paja, se compone por muros auto portantes, comúnmente está conformado por balas de paja de 100 x 45 cm los que están soportados por una estructura de madera que soporta el peso de la cubierta. Este proceso de construcción no requiere mano de obra especializada y está basado en la colocación tendida de bloques de paja compactada, apegados uno con otro, Los fardos pueden superponerse, para luego anclarse todos sobre el piso, pueden montarse con algún mortero sobre una estructura de madera, metálica u otros sistemas. No es necesario realizar columnas ya que los muros de fardos de paja son auto portantes. Para el revestimiento interior se puede revocar con arcilla o yeso ¹⁴. El revestimiento exterior es muy importante ya que de este dependerá su duración y protección contra los distintos agentes, se realiza con revoque de barro, que posteriormente se

puede pintar, también se puede aplicar mortero, sobre el cual se reviste con otro material. La cubierta tiene diferentes opciones de materiales, comúnmente se lo realiza con estructura de madera dejando una cámara de aire o una capa de fardos de paja para obtener un aislamiento térmico, entre el cielo raso y el tejado.

La aplicación de esta técnica de construcción, permite edificaciones de unos cuantos pisos y ha sido aplicada principalmente en Norteamérica y algunos países de Europa, dependiendo del medio climático y geológico donde se emplazará la edificación y si tiene que resistir esfuerzos sísmicos, vientos o lluvias, se elegirá el sistema estructural y formal. La construcción con fardos de paja empezó en Estados Unidos en el siglo 19, iniciando simplemente un sistema constructivo económico que se aplicaba en granjas, en las últimas décadas este sistema constructivo ecológico pasa a ser considerado en edificaciones de viviendas y refugios¹⁵.

Este es un sistema constructivo ecológicamente eficiente, muy interesante y diferente a lo común por su materialidad en la edificación y su capacidad de proteger el interior a las inclemencias del tiempo, es ideal para aplicaciones en climas fríos y secos. Si no se protege de la humedad y el agua este sistema tendría problemas de descomposición de los materiales. Los bloques o fardos de paja presentan muchas ventajas y tienen un excelente grado de aislamiento termo-acústico. Para su producción se utilizan los desechos de la cosecha de trigo, pasto o cualquier otro cereal, transformando estas fibras naturales en un recurso, lo que es un buen concepto para una construcción sostenible.

13 MacDonald, S. O. Construcción con fardos de paja. Kingston: Builders without Borders BWOB, 1999:5.

14 Martín, Andrés. Construcción con balas de paja. 2011. <http://equipoaparejador.com/blog/http://equipoaparejador.com/blog/2011/09/construccion-con-balas-de-paja.html> (último acceso: 20 de noviembre de 2015).

15 MacDonald, Construcción con fardos de paja. BWOB: 9.

1.3.4 ENTRAMADOS DE BAMBÚ

Desde la antigüedad uno de los materiales más empleados en la construcción es el bambú, generalmente es utilizado en zonas tropicales en donde se encuentra esta especie. *“La importancia del bambú en la arquitectura nos muestra las cualidades estéticas y sus técnicas, el bambú es uno de los materiales idóneos para la arquitectura sostenible”*¹⁶. La unión de varios elementos de cañas de bambú, que comúnmente es mediante cuerdas o piezas metálicas con mortero, forman los entramados de bambú; que pueden ser aplicados como elementos constructivos con propiedades antisísmicas y como elementos decorativos.

La caña de bambú se compone de fibras vegetales que le dan características de ser un material fuerte, liviano y flexible. Por su estructura física en forma de tubo y con refuerzos transversales, tiene una alta resistencia mecánica a la tracción y compresión, en relación a su sección y peso por lo que es llamado el acero vegetal, aunque no es muy durable si no se le da mantenimiento y un tratamiento continuo. Esta caña permite excelentes soluciones para climas cálidos si es utilizado en forma natural y también se le puede tratar para mejorar su resistencia a la degradación. El bambú es un producto renovable que se puede cultivar y su crecimiento es relativamente rápido, hasta que se lo puede aprovechar en la construcción, es una fibra vegetal muy fácil de trabajar y no requiere de herramientas especializadas. Normalmente se construyen sistemas de entramados livianos y permeables para climas cálidos y húmedos, aprovechando esta característica, para tener una ventilación

natural a la vez que la estructura tiene también propiedades antisísmicas. Los costos del material son bajos pero se requiere de mano de obra especializada para utilizarlo en la construcción sin embargo generalmente sus técnicas constructivas son tradicionales y simples. *“En las edificaciones, el bambú es combinado con otros materiales como la madera, arcilla, cal, cemento, hierro, hojas de palma, etc. y no debe estar expuesto al agua”*¹⁷.

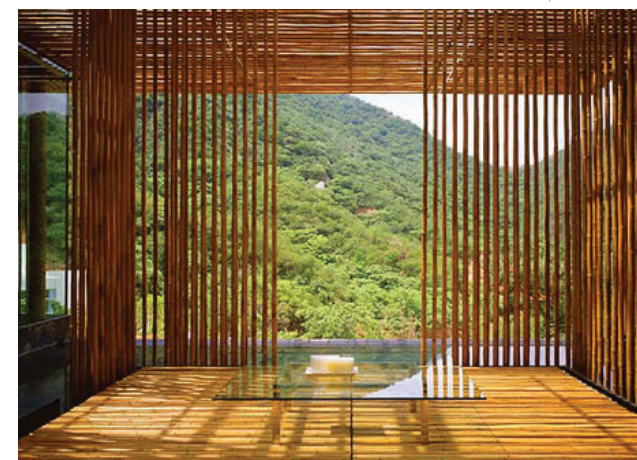
Hay varios usos y aplicaciones para los entramados de bambú, para edificaciones en general como viviendas, estructuras para puentes, sistemas de andamios para construcciones y como elementos decorativos o de recubrimiento, etc. Se puede generar estructuras desde los cimientos, pórticos, tabiques, marcos de ventanas y puertas, cielo raso y cubiertas. Al sistema de entramados se pueden combinar con otros elementos o materiales constructivos, y siempre hay que darle un tratamiento a la fibra para darle más tiempo de vida útil.

Este sistema constructivo está desarrollado en Colombia donde es cultivado y aprovechado en la industria constructiva. En nuestro país se encuentran bosque de esta especie y existen muy buenas condiciones para ser cultivado, pero no es aprovechado ya que es mayormente considerado como un material para personas de escasos recursos y para andamios. Esta percepción del bambú va cambiando poco a poco en nuestro medio y ya empieza a ser considerado en diseños arquitectónicos donde se aprecia su nobleza y belleza. Hay un gran futuro con respecto a este recurso natural, y puede generar una gran industria productiva para las comunidades que estén en las regiones donde pueda ser cultivado.



I 14. Uniones con Bambu.

Fuente: www.universoarquitectura.com



I 15. Entramados de Bambu.

Fuente: www.cronicadelquindio.com

16 Rossi, Patricia. Construcción ecológica con fardos de pasto. 2013. <http://ideasparaconstruir.com/n/770/construccion-ecologica-con-fardos-de-pasto.html> (último acceso: 15 de noviembre de 2015).

17 Martín, Andrés. Construcción con balas de paja. 2011. <http://equipoaparejador.com/blog/http://equipoaparejador.com/blog/2011/09/construccion-con-balas-de-paja.html> (último acceso: 20 de noviembre de 2015).



Universidad de Cuenca

1.4 SISTEMAS PREFABRICADOS

Actualmente los materiales prefabricados, cada vez son más utilizados y constituyen un sistema industrializado de producción en serie para después ser montados rápidamente en obra, su ventaja, es que se puede mejorar mucho el rendimiento y tiempos en la construcción. Por lo general, los sistemas prefabricados son componentes constructivos para muros, pisos, cielos rasos, techos, etc, y no se necesita de equipos complejos para su instalación. *“Los paneles interiores y exteriores están usualmente contruidos teniendo en cuenta criterios de coordinación modular con dimensiones uniformes que usan un módulo como unidad de medida”*¹⁸.

Los tableros prefabricados normalmente son instalados en sistemas constructivos para tabiquería en seco llamados Drywall, que es utilizado para divisiones internas y externas. El nombre de este sistema se debe a que en el proceso de armado se lo realiza en seco, lo que lo convierte en un sistema muy ágil y limpio. Este sistema constructivo se basa en una estructura de acero galvanizado o madera maciza compuesta por montantes y travesaños, que se coloca cada cierta distancia, dependiendo del diseño para que los montantes puedan sujetar placas o paneles de cualquier tipo, que pueden ser paneles de yeso, madera, fibrocemento, etc, fiján-

doles con tornillos autorroscantes o clavos, luego si se requiere se coloca una cinta de fibra de vidrio o papel en las juntas para que una vez colocado se le pueda dar cualquier tipo de acabado, este sistema es muy conveniente debido a la facilidad y rapidez de montaje.

Entre las ventajas tenemos:

- Es un sistema muy limpio, no desprende mucha cantidad de desperdicios.
- Rapidez en su montaje.
- No requiere destrucción ni mucho tiempo la colocación de instalaciones en general
- Bajo nivel de obra calificada
- Fácil modificación a futuro
- Se lo puede tratar para aislamientos térmicos y acústicos.

Con estos sistemas constructivos para viviendas y edificaciones, se puede obtener y generar una diversidad de diseños utilizando los mismos paneles modulares. En nuestro país aún no están difundidos estos sistemas constructivos, pero ya empiezan a tener gran interés en el medio por sus beneficios.



16. Colocación de placas prefabricadas.

Fuente: www.senkereste.net

18 Chan, Mario H., Omar Araujo, Manuel Azueta, y Luis E. Solís. «Tableros de madera de partículas.» Ingeniería Revista Académica, 2004: 39-45



I 17 Placas de yeso catón.

Fuente: universomaterialmyp.blogspot.com



I 18. Colocación de paneles.

Fuente: www.decoracionesazuqueca.com

1.5.1 TABLEROS DE YESO CARTÓN

Estos elementos están constituidos por un núcleo de yeso con aditivos especiales y se encuentra revestido a ambos lados con papel adherente de celulosa muy resistente. La combinación de estas dos materias primas del núcleo de yeso con el cartón adhesivo fortalece al tablero dándole la solidez necesaria para soportar cargas de flexión. Las placas de yeso cartón son elementos de relleno y necesitan de una estructura de soporte que puede ser metálica o de madera. Los formatos más usados comúnmente son: 1.22m x 2.44 m, 1.22m x 3.05m y 1.22m x 3.66m y espesores de 1cm, 1.2cm, 1.6cm y 2.5cm.

En la fabricación de los tableros, la materia prima del yeso es calcinada y molida; posteriormente es mezclada con agua y aditivos y se vuelve a moler para prensar sobre una plataforma, donde se recubren con el cartón conformándose así los tableros. Luego de este proceso se los seca y se cortan según el formato para finalmente ser rotulados y agrupados. Toda esta secuencia de fabricación de los tableros de yeso-cartón se realiza en grandes instalaciones en un proceso con cintas transportadoras¹⁹.

Los paneles de yeso cartón tienen un núcleo recubierto entre papel reciclado en la cara frontal y de un papel más resistente en la parte posterior, lo que facilita maniobrar y cortar, con navaja, agilitando de esta manera, la instalación y su aplicación en obra de cualquier tipo de recubrimiento o acabado, como puede ser empaste o pintura. Las uniones o juntas tratadas de la forma co-

rrecta evitan el agrietamiento causado por movimientos de los bastidores. Para la puesta en obra se realiza sobre una estructura entramada de perfiles metálicos o de madera, para el montaje de las placas a dicha estructura se utiliza tornillos autorroscantes de cabeza plana. De esta manera, se van colocando los paneles para luego ser empastados, para evitar fisuramiento se sellan las juntas con una cinta especial previo al proceso de empaste. Los tableros de yeso cartón son utilizados en espacios interiores como revestimientos de tabiques, cielo raso y detalles arquitectónicos, que pueden aplicarse en viviendas y edificaciones de diversos usos.

“Las placas pueden tener recubrimientos de barita o láminas de plomo que se atornillan al tabique para ser usadas en salas radiológicas de hospitales y clínicas, para servir como barrera contra las radiaciones ionizantes. También pueden cubrirse con laminas de fibra de vidrio que son totalmente lavables, para cocinas industriales o fábricas de alimentos”²⁰.

Los paneles prefabricados de yeso cartón son una muy recomendable solución para construir espacios interiores y también es una excelente opción como revestimiento de muros de mampostería. Es un sistema constructivo eficiente, en la que se forma una cámara de aire que puede ser relleno con cualquier producto para obtener aislamiento termo-acústico a la vez se pueden colocar tuberías para diversas instalaciones necesarias en las edificaciones. Lo que conlleva en una rápida instalación y acabados, pero este sistema no debe ser expuesto a la humedad ni a altas temperaturas.

19 Hugues, Theodor, Ludwig Steiger, y Johan Webber. Construcción con Madera. Barcelona: GG Edition Detail., 2009: 52.

20 Zamborlini, Rolo. «Universo Material.» PYL (Placa de yeso laminado). 14 de Mayo de 2015. <http://universomaterialmyp.blogspot.com/2015/05/pyl-placa-de-yeso-laminado-el-carton.html> (último acceso: 20 de diciembre de 2015).

1.5.2 TABLERO DE VIRUTAS ORIENTADAS OSB

Estos tableros prefabricados son elaborados por varias capas formadas por astillas de madera orientadas en distintas direcciones, este tipo de aglomerados reutilizan las virutas producidas por los residuos industriales y son procesadas a altas temperaturas y presiones para su elaboración, por lo cual son una evolución de los tableros aglomerados y contrachapados de madera. Los tableros tienen espesores estándares entre los 6mm a 28mm, la elección del espesor se basa conforme a criterios técnicos como es el caso de resistividad, presión y uso. Su formato más común es de 1.22 x 2.44m desde 9.5mm hasta 18mm de espesor. Su densidad es variable, pero en general suele ser similar a la de las maderas ligeras.

*“El tablero de virutas orientadas OSB (Oriented Strand Board) es un producto derivado de la madera de concepción técnica avanzada, elaborado a partir de virutas de madera, las cuales son unidas mediante una cola sintética; las virutas son posteriormente prensadas someténdolas a unas presiones y temperaturas determinadas”*²¹. Cada capa sigue una alineación contraria a la capa anterior, de tal forma que se obtiene un material con un comportamiento homogéneo, ante las fuerzas de tracción y compresión. Para mejorar las características del tablero OSB dependiendo de la aplicación a la que va ser destinado, se puede agregar aditivos que mejoran la resistencia al fuego, a la humedad o al ataque biológico.

Los usos más habituales de los tableros OSB por sus buenas características físicas y mecánicas, son en aplicaciones estructurales para pisos, muros y cubiertas. Se

utilizan como alma en vigas mixtas o de madera, como tableros de soporte de la cubierta, como base de suelos, como tabiquería en paredes, y también formando parte de algunos tipos de panel sándwich. El tablero OSB no solo es utilizado en aplicaciones estructurales también se utilizan en revestimientos, en decoración y en mobiliarios.

La aparición de estos tableros es reciente, su origen fue alrededor de 1960. *“El objetivo fue conseguir un tablero de propiedades parecidas a los del tablero contrachapado, pero utilizando elementos de menor dimensión y por lo tanto aprovechar mejor los recursos forestales”*²². Tras varios años de experimentaciones y patentes finalmente se logró el objetivo y en menos de 15 años se impuso a los tableros contrachapados. La ordenación de las fibras en los tableros OSB se va alternando y es cruzada lo que confiere muy buenas propiedades de resistencia. *“El corte a máquina de la madera en paralelo a la fibra le otorga excelentes valores de resistencia (dos o tres veces mayores que los tableros de partículas)”*²³.

Este tablero prefabricado contiene un buen concepto que se puede aplicar en el diseño de paneles por la forma de orientar las fibras. Pero para unir las partículas se utilizan distintos tipos de resinas sintéticas principalmente las fenólicas, cuando se produjeron los primeros productos de partículas de madera aglomerada se utilizaban aglutinantes que despedían sustancias tóxicas, por lo que fueron prohibidos en algunos países en sus inicios, pero los aglutinantes y resinas han ido mejorando con el tiempo y estos productos industriales han ido ganando terreno en el campo de la construcción.



I 19. Textura del tablero OSB.

Fuente: www.senkereste.net



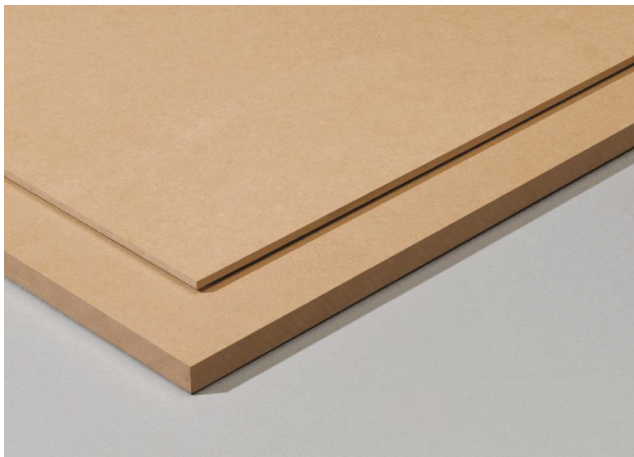
I 20. Colocación de tableros OSB.

Fuente: www.senkereste.net

21 EPF. «Información Técnica OSB.» European Panel Federation. 2012. <http://www.euro-panels.org> (último acceso: 18 de noviembre de 2015).

22 Hugues, Theodor, Ludwig Steiger, y Johan Webber. Construcción con Madera. Barcelona: GG Edition Detail., 2009: 46.

23 AITIM. Tableros de virutas orientadas (OSB). 2012. http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro2011/TablerosOSB.pdf (último acceso: 21 de diciembre de 2015).



I 21. Tableros MDF.

Fuente: www.egger.com



I 22. Tableros Plywood

Fuente: www.gomezcarpinteria.com

1.5.3 TABLEROS DE PARTÍCULAS DE MADERA

En la construcción se utilizan comúnmente dos tipos de tableros de madera aglomerada, los tableros contrachapados y los de fibras o partículas. Los tableros contrachapados conocidos también como tableros plywood, están compuestos por algunas capas o chapas de madera, mientras que los tableros de fibras de densidad media o también llamados MDF por sus siglas en inglés, se componen por partículas fibrosas de madera; en nuestro país existen algunos distribuidores de tableros contrachapados y de partículas, los cuales presentan productos con dimensiones similares; existen diferentes tipos de formatos, espesores, colores, etc., como: el plywood, de medidas 1.22m x 2.44m y de espesor de 4 a 18mm. y el MDF de 2.14m x 2.60m, 1.83m x 2.60m, 1.83m x 2.44m, y 1.22m x 2.44m en espesores desde 3mm hasta 38mm.

Para la fabricación de tableros contrachapado se producen aplicando chapas o láminas de madera encolada, en la que la dirección de las fibras de cada capa de madera están en sentido perpendicular una con respecto a la otra, están aglomeradas por presión y calor, y aglutinados por resinas sintéticas como urea formaldehído o resinas fenólicas. Los tableros de fibras de madera o MDF se fabrican introduciendo en un tanque de tratamiento de virutas de madera para un tratamiento con vapor, luego pasan a ser trituradas a éstas fibras agregándoles cola, aditivos conservantes y finalmente la mezcla aglomerada mediante presión y calor ²⁴. Para recubrimientos es posible utilizar chapas naturales, chapas sintéticas, papel lacado, laminados plásticos, placas

metálicas, melamina, etc.

La aparición de estos tableros de partículas fue a mediados del siglo XIX y fueron mejorando hasta nuestra época, con la idea de crear tableros que reemplacen a la madera sólida con mejores propiedades que la madera natural. Su desarrollo se basa en conceptos de aprovechamiento de materiales de baja calidad, de los residuos y de productos de reciclaje de la industria maderera ²⁵. Su forma de instalación en obra es similar al de los otros tableros prefabricados mediante tornillos autoroscantes a una estructura metálica o de madera; estos tipos de tableros prefabricados utilizan en edificaciones y viviendas con procesos constructivos modulados para interiores, en revestimiento y refuerzos de tabiques, cielo raso, cubiertas, también se los pueden utilizar como mobiliario para cocinas, dormitorios, muebles, etc., los mismos que deben ser protegidos de la humedad y se puede agregar conservantes, lacas o selladores para prolongar su vida útil.

Estos productos se procesan industrialmente y están compuestos por chapas, fibras o partículas de madera. *“Existe una tendencia predominante en muchos países de América Latina para fabricar y usar cada vez más los tableros a base de madera, ya que se pueden utilizar para fines estructurales o decorativos”*²⁶. Cada tipo de tableros poseen sus características y en general este tipo de tableros tienen muchas ventajas, por su resistencia, dimensiones, modulación, procesos de producción y por la utilización de especies de maderas de bajas densidades y la utilización de residuos y desechos de otros procesos madereros, como materia prima.

24 Hugues, Theodor, Ludwig Steiger, y Johan Webber. Construcción con Madera. Barcelona: GG Edition Detail., 2009.

25 Chan, Mario H., Omar Araujo, Manuel Azueta, y Luis E. Solís. «Tableros de madera de partículas.» Ingeniería Revista Académica, 2004: 39-45

26 AITIM. «Tablero de partículas.» 2011. http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro2011/Tableros_particulas.pdf (último acceso: 2015 de diciembre de 26).

1.5.4 TABLEROS DE BAMBÚ

Estos tableros de bambú se produjeron durante un proyecto de investigación de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, en el que se diseñó y desarrollo materiales de construcción derivados de la Caña Guadua o Bambú, se desarrollaron los denominados “Eco materiales” con el objetivo de transformar la caña guadua rolliza en paneles con superficies planas y fuertes, mediante un proceso de picado y prensado, con un mínimo de desperdicios y sin utilizar equipos complejos.

Para el proyecto se construyó una planta de producción con máquinas y equipos, algunas diseñadas o modificadas específicamente para la investigación como picadoras automáticas, prensas, cámaras de envejecimiento, etc.; se desarrollaron cuatro tipos de tableros, cuya materia prima es la Caña Guadua Angustifolia, a las que se les corta en media caña, se pican abren y limpian, analizaremos dos productos Plasbam y Esterbam.

El primer producto, Plasbam (imagen 23.) se obtiene de las cañas medias que son picadas hasta tener segmentos llamados latas de caña y lograr formar una esterilla, se colocan dos capas alternando el sentido de sus fibras en perpendicular; el segundo producto, Esterbam (imagen 24.) se consigue de las cintas de caña de 10cm x 1cm de espesor, que son tejidas para crear una estera y se coloca algunas capas, la obtención de la materia prima es realizada a mano tanto su extracción como su tejido. A ambos procesos finalmente se encola las fibras con resinas de urea formaldehído y se prensan aplicando calor para obtener los tableros. Para el acabado de

tableros se prepara la superficie y los cantos de los tableros puliéndola para mejorar su apariencia y estética.

El objetivo fundamental de este proyecto fue “*convertir a comunidades campesinas en proveedores de materia prima semielaborada y así mejorar sus ingresos. Para lo cual estas comunidades tendrán que seleccionar, cortar, curar de forma natural y química, secar, dimensionar y transformar la caña picada, medias cañas, tripas, esteriras y transportar a las plantas para el proceso final*”²⁷. En cuanto a las aplicaciones de los tableros, el primer producto, Plasbam pueden usarse como componente estructural con aplicación externa e interna, en tabiques, entresijos, cielo raso, puertas y mobiliario. Mientras que el segundo Esterbam se puede utilizar en recubrimientos decorativos para paredes, tabiques ligeros para separación de espacios, cielos rasos.²⁸

Este proyecto de investigación fue realizado en el año 2012, en convenio y apoyado por la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) que evaluó el cumplimiento de los objetivos y la calidad de los productos. Se obtuvieron algunas patentes de los productos con sus referentes marcas, así como las patentes de los equipos y máquinas utilizadas. “*Este proyecto ha buscado respuestas en el saber tradicional de los campesinos en sus formas ancestrales de transformar la caña guadua*”²⁹. Es un muy buen ejemplo de cómo se puede transformar materiales tradicionales, en propuestas de materiales de construcción con conceptos sostenibles y ecológicos, sin imitar procesos industriales.



Fig. 23. Tablero Plasbam.

Fuente: www.eco-materiales.net



Fig. 24. Tablero Esterbam y muestra del Tejido.

Fuente: www.eco-materiales.net

27 Moran, Jorge. «Arquitectura y construcción sostenible.» Ecomateriales para la construcción . 2011. http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/11_UCSG_Eco-materiales-para-la-construccion/C3%B3n_Jorge_Moran.pdf (último acceso: 15 de diciembre de 2015).

28 Moran, «Arquitectura y construcción sostenible.» <http://www.iner.gob.ec>.

29 Moran, «Arquitectura y construcción sostenible.» <http://www.iner.gob.ec>.



I 25. Material aislante, lino.

Fuente: Hugues, Ludwig y Webber.



I 26. Material aislante, fibras de coco.

Fuente: Hugues, Ludwig y Webber.

1.6 PRODUCTOS AISLANTES TERMO-ACÚSTICOS

Los productos utilizados mayormente para sistemas de aislamiento termo-acústico son de tipo sintético como la lana mineral y el poliestireno extruido. Los cuales, se encuentra fácilmente en el mercado a precios asequibles, pero estos aislantes y sus procesos de producción causan un impacto ambiental. A continuación se estudiaron productos aislantes compuestos por fibras vegetales.

1.6.1 FIBRAS DE LINO

La planta del lino llega a tener una altura de un metro aproximadamente la cual se puede obtener algunas fibras internas que pueden utilizar como material aislante; el lino es resistente a la acción de bacterias y moho.

Se recolectan las fibras luego es separado el tallo de las hojas, se tuesta y posteriormente se lava, seca, rompe, separa y tritura. De las fibras cortas se obtiene celulosa que se constituirán en material para el aislamiento térmico. Se le añaden diferentes aditivos estabilizadores como poliéster, bórax y sodio para protección de las fibras contra el fuego. Las fibras de lino se utilizan como material aislante en tabiques, muros, forjados y cubiertas. Tienen una textura de fieltro que se utilizan como aislantes frente al ruido y temperatura. El lino también se lo utiliza como material aislante en tubos y conductos ³⁰.

Estas fibras son muy poco utilizadas en nuestro medio, pero en países desarrollado su consumo empieza a ser cada vez mayor al ser fibras naturales, reducen alergias logrando un alto grado de confort al contrario de las

fibras sintéticas que causan impacto al medio ambiente por lo que se utiliza también en otras industrias como la automotriz.

1.6.2 FIBRAS DE COCO

Este material natural se encuentra en la capa exterior fibrosa del Coco. Puede conseguirse en forma de fieltro enrollado, esteras o tableros aislantes.

Para su producción, se separa manualmente del coco la capa fibrosa que normalmente tiene un espesor de aproximadamente 10cm., esta fibra se coloca de 6 a 10 meses en agua de mar, tiempo en el cual todos los elementos degradables se descomponen. Las fibras naturales que se pueden aprovechar se secan, se refinan y se prensan y según las necesidades se les da un formato y modulación. El material aislante de fibra de coco se puede encontrar en forma de tablero y fieltros enrollados y pueden tener algunas aplicaciones como tableros y utilizarse como aislante de pisos secos, húmedos y también paneles para aislamiento de ruido en muros y tabiques. Como fieltros enrollados se puede aplicar como material de aislamiento acústico y térmico de cámaras en muros, forjados y cubiertas así como material de relleno para juntas de puertas y ventanas ³¹.

Este es un buen ejemplo de que se puede lograr un producto con buenas características de aislamiento térmico y acústico utilizando fibras naturales, estos productos no se encuentran en nuestro país, pero se están desarrollando en otros países.

30 Hugues, Theodor, Ludwig Steiger, y Johan Webber. Construcción con Madera. Barcelona: GG Edition Detail., 2009: 62.

31 Theodor Hugues, et al. Construcción con Madera: 63.

1.6.3 CORCHO

El corcho puede extraerse de la corteza exterior del árbol alcornoque, que crece a los alrededores del mar mediterráneo, puede obtenerse como material granulado natural, tableros aislantes y de material de relleno. Tiene características de resistencia frente a la degradación y al moho, inclusive cuando se encuentra en condiciones de humedad, aun así puede ser infectado por hongos si se da una exposición prolongada a la humedad.

Hay una variedad de formas de producir el corcho, para transformarlo en un material aislante depende de la aplicación a la que va ser destinado el producto. El corcho granulado se obtiene simplemente triturando la fibra natural sin utilizar aditivos. El corcho granulado expandido se obtiene aplicando calor mediante vapor luego aplicando presión en un contenedor hermético, así se provoca que los gránulos de corcho se aglutinen con su propia resina. Luego los bloques se cortan según la modulación que se necesite. Al corcho se lo puede aplicar como tableros aislantes térmico y acústico que se colocan sueltos o uniendo con clavos o cola. También se puede aplicar en sistemas de aislamiento compuestos siendo el corcho el alma de paneles tipo sándwich ³².

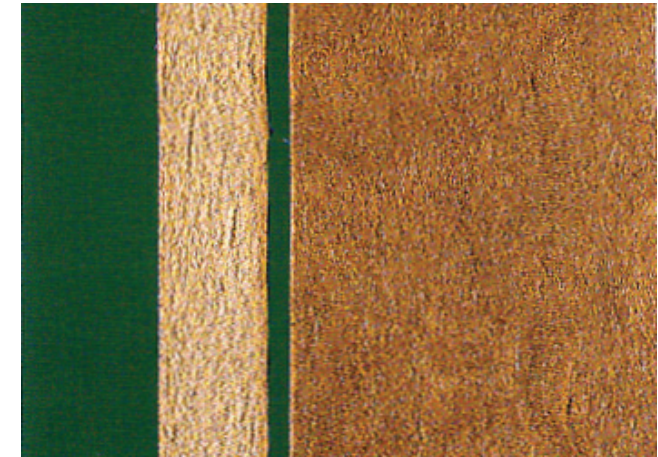
La fibra vegetal del corcho es una materia prima natural y reciclable, es totalmente renovable, no se necesita sacrificar el árbol para obtener la fibra, tiene una gran durabilidad. Esta es una muestra más de que se puede obtener muy buenos productos, amigables con el medio ambiente y biodegradables, además pueden combinarse con otros sistemas de revestimientos para obtener una mejor resistencia mecánica.

1.6.4 FIBRAS DE MADERA

Son tableros compuestos de fibras de madera de pino u otras maderas de densidad media y baja, para su producción la humedad de la fibra es alta, Los tableros de fibra de madera tienen una baja densidad y deben de protegerse de la radiación solar y de la humedad, por lo que son para aplicaciones interiores, al ser tratados tienen resistencia a agentes biológicos.

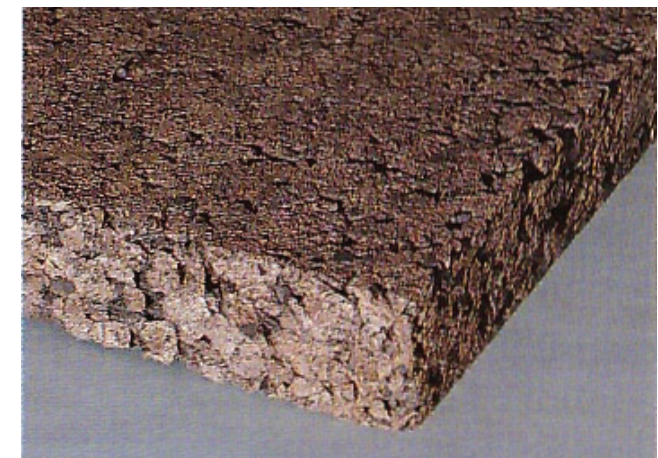
En su fabricación se utilizan los desechos de la tala de coníferas que se trituran en un proceso húmedo. La viruta se procesa en una cámara con vapor, las fibras se trituran hasta que las partículas se convierten en pasta con el vapor, que luego se vuelve a fraccionar. Al compuesto se le añade aditivos para conservar madera. Mediante una máquina la masa pasa a ser un manto fibroso, que será deshidratado por extrucción y presión. Por último se secan y conforman los tableros. Se pueden ir laminando varias capas para obtener tableros más gruesos. Los tableros de fibras de madera pueden aplicarse como elementos aislantes para forjados, muros techos y cubiertas y como paneles acústicos, pueden ser blandas o rígidas, dependiendo de su aplicación los tableros se unen mediante juntas a tope o machihembrados y se van colocando con colas o mecánicamente para tener su impermeabilidad pueden utilizarse selladores ³³.

Los tableros de fibra de madera son un buen ejemplo ya que utilizan productos de desecho de la industria maderera para transformarlos en paneles aislantes. Por su baja densidad poseen una baja resistencia. Su utilización es poco común en nuestro medio.



I 27. Material aislante, fibras de madera.

Fuente: Hugues, Ludwig y Webber.



I 28. Material aislante, corcho.

Fuente: Hugues, Ludwig y Webber.

³² Hugues, Theodor, Ludwig Steiger, y Johan Webber. Construcción con Madera. Barcelona: GG Edition Detail., 2009: 56.

³³ Theodor Hugues, et al. Construcción con Madera: 54.

Tabla 1: Resumen y cuadro comparativo de los sistemas constructivos.

SISTEMAS	MATERIALES	M. PRIMA	M. SECUNDARIO	FORMATO	DIMENSIONES [cm]	ESPESOR [cm]	DENSIDAD [kg/m ³]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/mK]	FUNCIÓN
TRADICIONALES	Adobe	Arcilla	Arena y Paja	Bloque	20 x 40	15 - 20	450	0,024	Estructural
	Bahareque	Arcilla	Madera y Carrizo	—	—	15 - 20	120	0.45 - 0.8	Estructural
	Bloques de Paja	Paja	Madera	Fardo	40 x 80	20 - 45	100	0.045-0.065	Relleno
	Entramados de Bambú	Bambú	Metal	Caña	3000	10	700	0.50	Estructural
PREFABRICADOS	Yeso Cartón	Yeso	Cartón	Panel	122 x 244	1.2 - 2.5	900-1000	0,21	Revestimiento
	OSB	Madera	Resina sintética	Panel	122 x 244	25	600-660	0,13	Estructural
	Plywood	Madera	Resina sintética	Panel	122 x 244	0.4 -1.8	400-500	0,15	Revestimiento
	MDF	Madera	Resina sintética	Panel	122 x 244	0.3 -3.8	350-500	0.065-0.17	Revestimiento
	Plasbam	Bambú	Resina sintética	Panel	122 x 244	2 - 3.5	700	0,2	Estructural
	Esterbam	Bambú	Resina sintética	Panel	122 x 244	1 - 1.5	400	0,15	Revestimiento
AISLANTES	Fibras de madera	Madera	Resina sintética	Rollo y panel	60 x 120	4 - 10	25	0,04	Relleno
	Fibras de Lino	Lino	Resina sintética	Rollo y panel	50 x120	40 - 100	25	0,04	Relleno
	Fibras de Coco	Coco	Resina sintética	Rollo y panel	60 x 120	1.3 - 4	50 - 140	0.045 - 0.05	Relleno
	Corcho	Corcho	Resina natural	Panel	50 X 120	2 - 10	80 - 200	0.04 - 0.055	Relleno

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos presentados en esta investigación.

1.7. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Se procede con las siguientes conclusiones luego de haber descrito los sistemas de construcción tradicionales, prefabricados y los productos de aislamiento térmico acústico.

- Los sistemas tradicionales están compuestos por materiales naturales principalmente la arcilla, la arena, y las fibras vegetales, las cuales son materias primas locales y renovables, propias del medio climático que han permitido tener ambientes confortables y armonizan con el contexto natural en el que se encuentran; estos sistemas constructivos se han ido desarrollando a través de los años y son un claro ejemplo de optimización de recursos así se disminuye el gasto energético y se frena la producción de CO₂.

- Los sistemas en base a elementos prefabricados son componentes de edificaciones como muros, pisos, cielo raso, cubiertas, estructuras, etc., bajo conceptos de coordinación modular, lo que conlleva a definirlos como sistemas muy versátiles por la forma de construir espacios de una manera limpia y por los buenos rendimientos en tiempos de instalación en obra. La utilización de resinas sintéticas es común en los procesos de producción de la mayoría de estos paneles, esto deriva en un impacto ecológico, aunque los sistemas de prefabricación de paneles sean productos industriales son sostenibles por la optimización de recursos y posibilitan un proceso de producción en serie. Estos sistemas son muy utilizados en países desarrollados, en nuestra región ha empezado en los últimos años a ser de interés en el campo constructivo.

- En todos los sistemas constructivos tradicionales y prefabricados estudiados, se tiene la utilización de fibras vegetales; su función es compactar, reforzar y estabilizar, con estos procesos se garantiza un mejor comportamiento del elemento frente a los esfuerzos de tracción y flexión. En el caso de los sistemas tradicionales los materiales como el adobe y los fardos de paja tienen una sección considerable lo que le da características favorables para las condiciones de confort térmico y acústico. Mientras que, los sistemas prefabricados tienen secciones más delgadas, lo que les da una alta densidad al material, de esta forma se consigue tener más resistencia mecánica e impermeabilidad en los paneles prefabricados.

- Se pueden obtener excelentes productos de aislamiento térmico y acústico aprovechando recursos o residuos vegetales como materia prima. En nuestra región no se encuentran estos materiales en el mercado, pero si existen en países desarrollados. Los procesos de producción en la mayoría de materiales de aislamiento tienen una baja huella ecológica, por lo que no tienen procesos complejos. Para la aplicación de estos productos, comúnmente son aplicados como alma de relleno entre paneles en sistemas prefabricados y adhiriéndolos a muros para mejorar las condiciones de aislamiento.

- Los métodos de construcción de paneles que serán aplicados en el presente proyecto es el de los eco materiales, por sus prestaciones como elementos de baja energía incorporada. En estos conceptos se basaran la aplicación de materiales y técnicas de los sistemas tradicionales, prefabricados y productos aislantes.



I 29. Cañizo revocado con barro y paja.

Fuente: www.artesaniaiberica.es



I 30. Puesta en obra de panel prefabricado.

Fuente: maxalconstruction.com

CAPITULO 2

ESTUDIO DE MATERIALES





Universidad de Cuenca

2.1 INFORMACIÓN FUNDAMENTAL SOBRE MATERIALES

Esta investigación plantea el aprovechamiento de elementos naturales y de origen vegetal con un mínimo de procesos basándose en conceptos de energía y eco-materiales. Los recursos para edificar por medio de materiales ecológicos son renovables, por ejemplo los fardos de paja seca sirven de grandes bloques que forman paredes con facilidad. *“Los materiales para construir deben probar un comportamiento específico, pero también es necesario que sus precios sean accesibles para la producción económica a escala y así contar con una amplia disponibilidad”*¹.

Existe una diversidad de materiales que son ocupados en la construcción, esta investigación analizó materiales estabilizadores, aglutinantes y de relleno, de tipo ecológico, sobre todo materiales de relleno en los que se ocupa las fibras vegetales en mayor porcentaje. La unión de uno o mas elementos formara un material compuesto. *“Todo material y sistema empleado en la construcción ha evolucionado con el fin de modificar sus características para ampliar su campo de aplicación”*².

Se estudió algunos materiales de sistemas constructivos tradicionales analizados anteriormente, así como otras alternativas convencionales utilizadas en otros procesos sostenibles. De forma sintetizada, se presenta aquí un análisis sobre materiales y fibras vegetales.

2.2 MATERIALES AGLUTINANTES

Los aglutinantes son compuestos con la capacidad de unir partículas de uno o más materiales para formar una masa solida; la forma en que llevan a cabo la unión, se denominan aglomerantes o conglomerantes.

- En los aglomerantes la unión tiene lugar por procesos físicos. Ejemplos: el barro, la cola, el betún, etc.
- En los conglomerantes la unión ocurre mediante transformaciones químicas. Ejemplos: el yeso, la cal y el cemento.

Los aglutinantes o cohesivos se usan en forma seca o en solución, según los componentes de la fórmula y el procedimiento de preparación de la mezcla. Es preferible el uso de los aglutinantes en solución ya que son mucho más efectivos que en estado seco. Las soluciones de aglutinantes se adicionan a los elementos, partículas o polvo con mucha precaución, evitando un exceso o una cantidad insuficiente, por esta razón es importante conocer la concentración adecuada a usarse para cada formulación. *“Los aglutinantes deben cumplir las siguientes funciones como la de proporcionar un alto nivel de dureza, baja friabilidad, excelente cohesión y compresión”*³.



I 01. Combinación de Materiales.

Fuente: Autor

- 1 Cobreros Rodríguez, Carlos. Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2009,3.
- 2 Abad, Mateo, José Aguirre, y Freddy Pañega. Diseño de Paneles Prefabricados en Tierra. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2012.
- 3 Stulz, Roland, y Kiran Mukerji. Materiales de construcción apropiados. London: SKAT & IT Publications, 1993,50.



I 02. Resina vinilica o cola blanca.

Fuente: www.1fsbiz.com

I 03. Silicato de sodio líquido.

Fuente: www.silicatosespeciales.com

2.2.1 RESINA DE VINYL ACRÍLICO

Es un material adhesivo comúnmente llamada cola blanca, su producción se basa en polímeros sintéticos emulsionados, son de color blanco que al secarse crea una capa transparente, este material al ser mezclado con materiales pétreos como: arena, cementos, cal, yeso, entre otros, mejora las características de plasticidad de la mezcla, debido a las partículas de los materiales, en las cuales aumenta el grado de cohesión.

Es un adhesivo de excelentes características, son utilizados en la construcción para mejorar la calidad de los morteros así como materiales de adherencias de baldosas, materiales de revestimiento, pinturas y otros, pero tiene problemas debido a que se producen hongos. Este material es comercializado en todo el país.

2.2.2 SILICATO DE SODIO

El silicato de sodio, conocido como 'vidrio soluble', es un producto químico inorgánico desarrollado en un principio como estabilizador que trabaja fundamentalmente como impermeabilizante, es un compuesto de bajo costo y se puede encontrar en varias partes del mundo. Este producto puede ser utilizado como aglutinante y tiene muchas propiedades útiles que son utilizadas en muchas industrias. La obtención de este producto es mediante un proceso químico, dado por la combinación de Oxido de Silicio (SiO_2) y Oxido de Sodio (Na_2O). *"La fusión de estos materiales a temperaturas superiores a los 1000°C da como resultado el silicato de sodio en piedra ($\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$) en forma de cristal. Éste silicato sólido es*

*luego disuelto en agua para obtener el silicato soluble o líquido"*⁴, dando como resultado la siguiente composición: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + n\text{SiO}_2 = \text{Na}_2\text{O} \cdot n(\text{SiO}_2) + \text{CO}_2$.

Por sus características físicas y químicas este compuesto tiene diversas aplicaciones. "El silicato de sodio es ampliamente usado en industrias como: Detergentes y jabones, papel y cartón, ingeniería civil, tratamiento de agua, cementos, adhesivos, aislamiento de tuberías, excavación de suelos de pozos petroleros, fundición, aglomeración, flotación de minerales entre otros"⁵. Una de las principales aplicaciones es en la fabricación de moldes para la fundición de piezas metálicas, en la que se utiliza el silicato de sodio como aglutinante con arena silícea, los moldes tienen buenas propiedades de dureza y porosidad, lo que permite su apropiada aplicación, para lograr un endurecimiento más rápido se aplica gas carbónico CO_2 con lo que este compuesto se gelatiniza y endurece.

Es muy utilizado en la industria de la construcción, directa e indirectamente, presente en productos para; la estabilización de suelos, cerámicas, adhesivos, cementos y concretos. Sus ventajas son principalmente para sellar poros, encapsular desechos, mejorar la resistencia y solidificación, resistencia a la acidez y a elevadas temperaturas, al agua, grasas y polvo. *"como aglomerantes, los silicatos son una opción económica, de fácil aplicación, y resistente que actúan como impermeabilizantes y aceleran el tiempo de fraguado"*⁶. El silicato de sodio se comercializa en el Ecuador principalmente para la industria de la fundición metálica, las plantas de producción están ubicadas en la provincia del Guayas.

4 MSSAS. Silicatos de Sodio . 2010. <http://www.siliceas.com/productos.php> (último acceso: 26 de diciembre de 2015).

5 Basso, Andrés, y Sebastián Conci. «Producción conjunta de silicato de sodio y derivados.» 3-4. Cordova: Universidad Nacional de Córdoba, 2007, 8.

6 MSSAS. Silicatos de Sodio . <http://www.siliceas.com/productos.php>.

2.3 MATERIALES ESTABILIZADORES.

Este término se utiliza para designar a sustancias que mejoran las propiedades de los materiales de construcción tradicionales, principalmente el barro. Los tipos de barros que no posee características óptimas para la construcción se pueden mejorar añadiendo uno o más estabilizadores⁷. En esta investigación este concepto se utilizó para clasificar a los materiales que pueden estabilizar o mejorar las propiedades físico mecánicas del material del panel propuesto.

Stulz y Mukerji argumenta que cada estabilizador puede cumplir uno o dos de las siguientes funciones de mejoramiento:

- Incrementa la resistencia a la compresión y al impacto y también reduce su tendencia a la dilatación o contracción, aglomerando las partículas unas a otras.
- Reduce la absorción de agua (que causa dilataciones, contracciones y erosión) sellando todos los vacíos y poros, y cubriendo las partículas de arcilla con una película impermeable.
- Reduce el agrietamiento dándole flexibilidad la cual permite que el material se expanda o contraiga.
- Reduce la expansión y contracción excesiva reforzando con material fibroso.

El efecto de la estabilización se incrementa generalmente cuando el material se compacta. Sin embargo sin un

estabilizador apropiado el efecto puede no ser permanente, particularmente en el caso de una mayor exposición al agua⁸.

2.3.1 TIPOS DE ESTABILIZADORES.

Algunas sustancias se pueden utilizar para estabilizar materiales. La estabilización no es una ciencia exacta, por ello depende del constructor hacer muestras con diferentes tipos y cantidades de estabilizadores, los cuales se pueden probar⁹. Según Stulz y Mukerji algunos de los materiales aglutinantes son también estabilizadores, los clasifica de la siguiente forma. Los estabilizadores disponibles en la naturaleza más comúnmente utilizados en construcciones tradicionales son:

- Arena y arcilla.
- Paja y fibras de plantas.
- Jugos de plantas (savia látex, aceites).
- Cenizas de madera.
- Excremento de animal.
- Otros productos de animales.

Los estabilizadores manufacturados más comunes, son los productos y subproductos industriales, como:

- Cal y puzolana.
- Cemento Portland.
- Yeso.
- Asfalto.
- Silicato de sodio. ("vidrio soluble")
- Resinas.
- Sueros (caseína).



I 04. Materiales estabilizadores.

Fuente: www.pac.com



I 05. Granos y aceite de linaza.

Fuente: img.aktuality.sk

7 Stulz, Roland, y Kiran Mukerji. Materiales de construcción apropiados. London: SKAT & IT Publications, 1993: 442.
8 Stulz, Roland, y Kiran Mukerji. Materiales de construcción apropiados: 442
9 Stulz, Roland, y Kiran Mukerji. Materiales de construcción apropiados: 443



I 06. Cal hidratada.

Fuente: www.quiminet.com

I 07. Arcilla roja.

Fuente: www.didatecna.com

Relativamente la elección del estabilizador adecuado depende principalmente de los costos y de la disponibilidad, pero también en cierto grado de su aceptación¹⁰.

2.3.2 ARCILLA

La arcilla está compuesta por silicatos entre ellos el silicato de aluminio y silicato de magnesio, este material tiene la propiedad de ser blando al ser húmedo y endurecido al ser seco, la composición de la arcilla roja contiene óxidos e hidróxidos de hierro y es la más usada por su facilidad de poderse obtener en abundancia.

La obtención de la materia prima por lo general está al pie de las colinas y tierras agrícolas cercanas a ríos, la ubicación de extracción depende de la calidad de la arcilla, nivel de la superficie y cercanía de carreteras para su transporte. El proceso de extracción puede ser manual o mecánico, el proceso manual es utilizado para producción artesanal y a mediana escala con profundidad de hasta 2m; mientras que, el proceso mecánico es utilizado a gran escala para producción de ladrillo, la cual requiere de un proceso de cocción para endurecerlo, este proceso de obtención utiliza dragaminas y excavadoras.

En el país se encuentran con abundancia al sur en las provincias de Azuay y Loja. Los usos de la arcilla va desde artesanales hasta producción en serie de utensilios de cocina, además de la producción artesanal e industrial de ladrillos para la construcción, la arcilla es uno de los elementos más utilizados como aglomerante para la construcción de viviendas desde tiempos muy antiguos y que actualmente se presta para crear nuevos productos.

2.3.3 CAL

La cal es un conglomerante compuesto con alto contenido de calcio o magnesio, su endurecimiento es provocado por la combinación con el dióxido de carbono del aire (carbonación), la mezcla con la arcilla forma un mortero y mejora sus características de plasticidad. *“La cal era usada por los romanos, además de cómo aglomerante, para estabilizar los suelos en los que éstos iban a edificar o construir pavimentos”*¹¹.

La obtención de la cal inicia por la extracción de la piedra caliza obtenidas de las minas y mediante un proceso en hornos a una determinada temperatura y tiempo específico convirtiendo en carbonato cálcico, triturado en piedras más pequeñas y por último se muele para convertirla en lo que se conoce como cal en polvo, hasta este punto se la conoce como cal viva y para poderla usar se debe apagarle mezclándola con agua esta se denomina cal apagada. Mediante procesos especializados de apagado se obtiene la cal hidratada que es un polvo más fino y de baja densidad con mejores propiedades mecánicas.

En nuestro país las minas y fabricas están ubicadas al norte, en las provincias de Chimborazo y Cotopaxi. La cal es un componente del cemento por lo tanto tiene menos energía incorporada en su procesamiento y producción, es aplicada en muchos sistemas constructivos tradicionales de tierra para estabilizar y mejorar las características mecánicas del barro. La Cal fue utilizada durante muchos años pero en la modernidad fue desplazada por el cemento que es un producto más elaborado, aun así

10 Stulz, Roland, y Kiran Mukerji. Materiales de construcción apropiados. London: SKAT & IT Publications, 1993: 442.

11 Pérez, Alba. Forum ibérico de la cal. 2014. http://www.fical.org/index.php?option=com_content&view=article&id=86:estabilizacion-de-arcillas&Itemid=430.%20Consultado%20el%2022%20de%20noviembre%20de%202014. (último acceso: 27 de diciembre de 2015).

sigue siendo utilizado en la restauración de construcciones tradicionales; con materiales originales que no aceptan modificaciones con otros materiales con características diferentes.

2.3.5 ARENA SILÍCEA

La arena sílicea está compuesta por la combinación de la sílice con el oxígeno. La composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de oxígeno, obteniendo una molécula estable (SiO_2). Una de las características de la arena es ser insoluble en el agua y en la naturaleza se encuentra en forma de cuarzo. Entre las propiedades se puede citar su dureza, resistencia química, alto punto de fusión y características piezoeléctricas.

La arena sílicea se puede encontrar en los lechos de los ríos y en minas, en nuestro país está presente en la provincia de Zamora Chinchipe. Los usos son de carácter industrial y son utilizados como materia prima para la fabricación de pinturas, morteros, detergentes, hormigones entre otros. Por la facilidad de producir fracciones granulométrica la arena sílice es aplicada como filtros de agua, fundiciones, vidrio, pisos de cerámicas. Este material es utilizado en la arquitectura para la fabricación de pisos con características de alta resistencia a la abrasión, para decoración de fachadas y es una alternativa para usos de aislamiento.

“La arena sílicea o sílice es una materia prima muy importante, de sus propiedades físicas y químicas derivan sus usos industriales” ¹². Cabe destacar que este material al ser mezclado con el silicato de sodio descrito

anteriormente forma una mezcla que reacciona químicamente con gas carbónico CO_2 y se solidifica. Este proceso es muy utilizado para formar moldes para la industria metálica por la dureza y resistencia a la temperatura. Este concepto, puede ser investigado y utilizado para aplicaciones en elementos constructivos.

2.3.4 YESO

El Yeso es un sulfato cálcico hidratado con moléculas de agua, se realizan un proceso de deshidratación para obtener diferentes tipos de yesos, son utilizados en la construcción para enlucidos y empastes una de las características importantes es que es un mal conductor térmico y por tanto es utilizado para divisiones interiores de cielo raso, de esta manera aísla el calor concentrado por la cubierta en las viviendas, otro de los usos del yeso es para hacer moldes ya sean para artesanías de cerámica y en el ámbito clínico para inmovilizar huesos fracturados y moldes para dentaduras.

El proceso de fabricación consiste en la extracción, selección y calcinación de la materia prima dependiendo tipo de yeso a fabricar. Luego se procede a la trituración, molienda y cribado para obtener el yeso en partículas finas. El Yeso se utiliza en la fabricación de molduras, detalles y en elementos prefabricados como el yeso cartón estudiado en el capítulo anterior.¹³ Uno de los beneficios de este material es la capacidad de ser un buen aislante térmico esta propiedad es aprovechada en la construcción de viviendas y existen múltiples talleres en el País para la elaboración de los llamados estucos para cielo raso.



I 08. Yeso diluido.

Fuente: www.geengeek.com



I 09. Arena Silíce.

Fuente: www.silicesmadrid.com

¹² AS. Arena Silice. 2010. <http://www.arenasilice.cl/silice/> (último acceso: 28 de diciembre de 2015).

¹³ Yesos Especializados de México SA. Fabricación del Yeso. 2009. <http://yesosespecializados.com/yeso-fabricacion.html> (último acceso: 27 de diciembre de 2015).



Universidad de Cuenca

2.4 MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

Los materiales lignocelulósicos conocidas como fibras vegetales están compuestas por elementos como Lignina del latín “lignum”, que significa madera y es una sustancia compuesta por paredes celulares de organismos vegetales, cuando la composición de un material está constituida por gran cantidad de este elemento le da la propiedad de leñosa por tanto sus características son de dureza, resistencia e impermeabilidad.

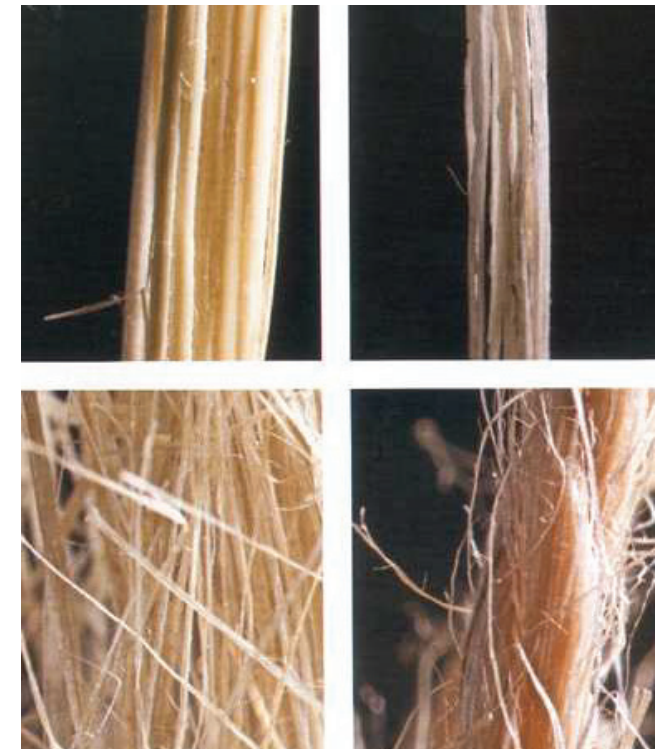
Otro de los componentes es la celulosa que es un compuesto orgánico que permite tener una estructura celular que se encuentra en la naturaleza en las plantas que al ser combinado con la lignina forman tejidos permitiendo que estos materiales tengan propiedades de resistencia, tracción y flexibilidad. *“Las fibras son estructuras unidimensionales sólidas y flexibles, con una longitud normalmente mayor a su diámetro”*¹⁴

Actualmente el uso de las fibras vegetales en diversas aplicaciones a retomado fuerza por los beneficios que estos prestan son: su bajo costo, fácil procesamiento de adquisición, materiales biodegradables entre otras. Además de estos beneficios podemos citar ventajas como el aislamiento sea este térmico o acústico, baja densidad, resistencia y bioquímicos¹⁵. En esta investigación se pretende obtener análisis sobre el uso de fibras naturales para elementos constructivos.

Las fibras vegetales pueden ser muy útiles en la construcción, de hecho han sido utilizadas desde épocas muy antiguas, principalmente la madera. Los recursos forestales de donde proviene la madera son cada vez más escasos e insuficientes en la actualidad, debido al incremento de la población mundial en los últimos años, que produce una mayor la demanda de productos derivados de la madera, como los paneles aglomerados.

En la industria de la construcción y otras industrias, se han venido utilizando las fibras sintéticas como la lana mineral, fibra de vidrio etc. para distintos usos de relleno por ejemplo en aislamiento. Campos en los que estas fibras sintéticas han demostrado ser muy eficientes pero tienen un alto costo energético por lo tanto producen un alto impacto ambiental además de que muchos productos sintéticos causan alergias y afectaciones a la salud.

Por estas razones mencionadas, Cobreros replantea utilizar las fibras vegetales como un material alternativo para construcción y edificación sostenible. Materia prima que se puede obtener de productos o subproductos de la industria agrícola, ya que es una fuente renovable además que estas fibras poseen; la cualidad de ser biodegradables con lo cual se cierra su ciclo logrando un bajo nivel de afectación al ambiente.¹⁶ Conceptos que han sido requeridos en esta investigación.



10. Estructura de fibras vegetales.

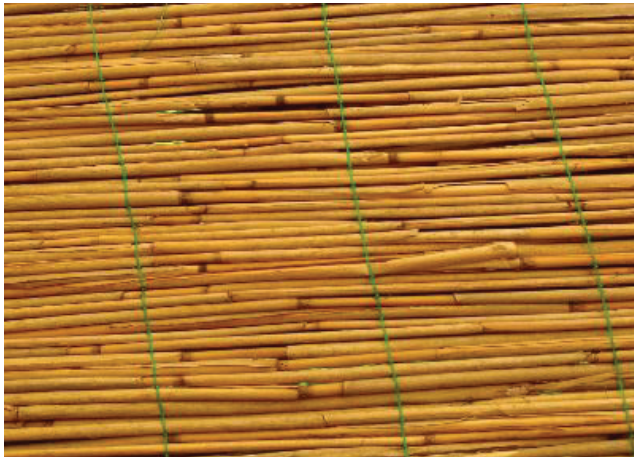
Fuente: Arq. Carlos Cobreros.

- 14 Cobreros Rodríguez, Carlos. Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2009:11.
- 15 Cadena, Carolina, y Antonio Bula. «Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz.» Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte., 2002: 8-9.
- 16 Cobreros. Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible.:11



I 11. Bosque de Bambú.

Fuente: voces.nationalgeographic.com



I 12. Cobertura de carrizo.

Fuente: apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com

“La presencia de las fibras en nuestro medio es extensa”¹⁷, por lo cual las fibras vegetales han tenido una amplia aplicación en la construcción tradicional a continuación se ha hecho una clasificación a las fibras vegetales en la cual se presenta algunos ejemplos y se estudia las características de fibras comunes que se encuentran en nuestra región. De acuerdo con Pinos, las fibras vegetales se clasifican según su función como:

- Fibras estructurales
- Fibras de relleno
- Fibras de amarre

2.4.1 FIBRAS ESTRUCTURALES

El diseño arquitectónico requiere de elementos estructurales para dar forma a los diversos espacios creados para interactuar con las necesidades del hombre entre ellas la vivienda. Las fibras estructurales son una alternativa para interactuar entre los espacios diseñados para confort del hombre y la naturaleza, existe múltiples alternativas entre las que podemos citar el bambú o caña guadua y el carrizo elementos utilizados en nuestro país.

El bambú es un recurso natural que ha estado presente en diferentes culturas y utilizados en diferentes ámbitos al servicio de la humanidad entre ellas podemos citar: elementos para la construcción de viviendas, muebles, herramientas e instrumentos musicales. Según estudios se consideran que existen 1400 especies y un tercio de estas son nativas de América, 22 de este género se consideran bambús leñosos con 350 especies y 115 especies de bambús herbáceos¹⁸.

El Bambú leñoso es el más apto para aplicaciones de construcción el cual alcanza los 30 metros de altura y los 22 centímetros de diámetro y hasta un centímetro de espesor en nuestro país se la conoce con el nombre de caña guadua y es cultivada en las zonas tropicales ya sea en la costa como en la amazonia.

En la sierra de nuestro país es utilizado el carrizo como elemento estructural en el Bahareque, para sostener el yeso de los estucos y en recubrimientos. El carrizo es una especie introducida en nuestra región y se ha adaptado en zonas húmedas entre ellas zonas altas y orillas de ríos, una vez que el carrizo haya desarrollado su tallo se lo corta y se lo deja secar para que vuelva más sólida, es un material hueco en su interior con nudos en donde brotan sus hojas envainando al tallo llegan a una altura hasta 6 metros y 4 centímetros de diámetro. Nuestras poblaciones antepasadas e indígenas utilizaban en la arquitectura tradicional para la estructura de paredes rellenas de tierra, camas de carrizo para cubiertas, estructuras para cielo rasos y estucos, En la zona del Azuay es en donde existe sembríos de estas fibras, que entre los usos artesanales podemos destacar las canastillas vendidas en nuestros mercados.

2.4.2 FIBRA DE RELLENO

Los elementos de relleno en la construcción permite fortalecer las paredes como también el aislamiento térmico y acústico de una zona a otra, estos materiales de relleno pueden ser pétreos y en el caso de arquitectura sostenibles mediante fibras vegetales entre la que podemos citar: el tamo de arroz, paja, bagazo de caña, totora, etc.

17 Pinos, Jéssica, y Teresa Baculima. «Recuperación del sistema constructivo en la técnica.» 32. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2014: 51.

18 Altamirano, Claudia, y Edmundo Cueva. Estudio y Experimentación de paneles estructurales y de revestimiento en base de la caña de la sierra. Cuenca: Universidad de Cuenca., 2011.

El tamo de arroz es un residuo proveniente de la industria arrocera también llamada cascarilla, la cual es quebradiza, áspera y de color pardo rojizo. Por su densidad ocupa grandes espacios como por ejemplo: una tonelada (T) podría ocupar un espacio de 8m³, la humedad se encuentra hasta el 40% dependiendo de la época ya que en sequía llega al 15%, este elemento contiene un alto porcentaje de sílice lo que hace que no sea apto para la alimentación. Este material no es aprovechado actualmente por la industria arrocera considerando que en el Ecuador produce 400.000 toneladas por año y es utilizada para, esparcir en establos y como abono, una gran cantidad es desechada, incinerada o arrojada en ríos, lo que presenta un daño a nuestro ecosistema .

Otro elemento de relleno, es la tatora la cual es una planta de raíces acuáticas que por lo general crece en lagos y humedales, es una planta nativa de América de Sur sobre todo en la cordillera de los Andes. La estructura interior es porosa formada con cámaras de aire como una esponja, característica que la hace muy liviana y buen aislante térmico. su longitud alcanza los 3.5m con un diámetro de 2.5cm, el crecimiento es rápido por lo que al menos de seis meses a un año se la puede cosechar eligiendo las zonas que mayor ramificación presenta, por ejemplo en el lago de San Pablo se cultivan cada año y llegan a los 3m de altura. En algunos lugares de América del sur es utilizada para realizar embarcaciones que sirven a los indígenas transportarse en los lagos, otras aplicaciones podemos citar que utilizan para viviendas, pesca, alimentación. En nuestro país en la provincia de Imbabura utilizan de forma artesanal para la fabricación de esteras, aventadores, sombreros etc. ¹⁹.

2.4.3 FIBRAS DE AMARRE

En nuestra cultura ancestral así como tradicional, fue habitual el uso de fibras utilizadas como elemento de amarrar, el cual procesaban para la elaboración de sogas, por ejemplo en la ciudad de Cuenca en la época colonial fue muy común la construcción de cubiertas con estructura de madera sujetas mediante fibras de cabuya, muchos de los cuales se mantienen en buenas condiciones hasta la fecha. Citando algunas de estas fibras: las fibras obtenidas de los pencos, hojas de palmas, fique entre otras; estos elementos fueron creados para realizar diferentes tipos de amarres para embarcaciones, viviendas, vestidos entre otros.

Una de las fibras que vamos a utilizar es la cabuya que es obtenida de los pencos, es una planta de la familia herbácea típica de la zona de México y se la encuentran en los países de Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina. Las características de los pencos son sus hojas verdes largas y delgadas con espinas en sus bordes. La fibra necesita ser secada y es procesada artesanalmente, las propiedades de estas hojas permiten obtener fibras duras, resistentes, durables y ásperas, otra forma de denominar la cabuya podemos oír como pita, chaguar, etc. Los usos en nuestro país data desde la época de la Colonia, para la elaboración de sogas, alfombras y costales, generalmente usados para la agricultura La producción en el sector campesino es de menor a escala pero en los últimos tiempos se han cultivado en mayores extensiones debido al aumento de la demanda industrial. En nuestro país las agroindustrias están en las Provincias de Chimborazo y Guayas.



I 13. Muro de totora.

Fuente: Autor



I 14. Fibras de cabuya.

Fuente: eugeniamuscio.blogspot.com

19 Hidalgo, Juan. Aprovechamiento de la tatora como material de construcción. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2007.

Tabla 2: Algunas características de materiales lignocelulósicos o fibras vegetales.

FIBRA	MATERIA PRIMA	LONGITUD [cm]	DIAMETRO [mm]	DENSIDAD [kg/m ³]	CONDUCTIVIDAD TERMICA [W/mK]	OBTENCION		TRATAMIENTO		PROPIEDADES	
						Fácil	Difícil	Si	No	Ignífuga	Térmica
Bambú	Árbol de bambú	2000 - 3000	220	700	0.037 - 0.050	*			*		*
Carrizo	Carrizo	200 - 600	22 - 40	160	0.038	*			*		*
Tamo de arroz	Cascarilla de Arroz	0.5 - 1.1	2	100	0.03605	*			*	*	*
Bagazo de Caña	Caña de azúcar	100 - 300	50	200	0.039	*		*			*
Totora	Schoenoplectus	300 - 400	25	180	0.040 - 0.150	*			*		*
Cabuya	Agave	100 - 200	0.5	45	0.037 - 0.047	*			*		*

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos presentados en esta investigación.

2.5 FIBRA VEGETAL DEL TAMO DE ARROZ

Las fibras vegetales consideradas como relleno pueden ser utilizadas como elemento constructivo, que brinde las características necesarias como el aislamiento termo-acuático entre otras, a partir de esta descripción debemos seleccionar múltiples materiales. Como indicamos anteriormente el Tamo de Arroz es una alternativa debido a la alta producción de arroz en nuestro país y el mundo. Esta fibra ha sido seleccionada como principal componente del material compuesto para el panel diseñado para esta investigación, debido a su facilidad de obtención y a sus características físicas, como su tamaño y forma lo cual es ideal, al no tener que triturarlo para obtener partículas más pequeñas de esta fibra, así se tiene un ahorro energético en la producción del panel propuesto.

El tamaño de la cascarilla depende del grano de arroz ya que lo recubre para protegerlo del medio ambiente, por lo que el largo esta entre los 5 a 11 mm. Su característica como aislante térmico es óptima por tener coeficientes de conductividad térmica baja. Otra de las características favorables es su baja combustión lo que permite que no produzca llamas al ser expuesto al fuego, esta propiedad es dada por tener un alto contenido de sílice alrededor del 95%, más adelante presentaremos sus propiedades físicas y químicas de este componente.

2.5.1 AGROINDUSTRIA DEL ARROZ.

La agroindustria del arroz comprende etapas de producción, industrialización y comercialización del produc-

to, esta industria se puede clasificar según su nivel de tecnificación entre ellas: tradicional, semi tecnificada y totalmente tecnificada.

La cadena de producción del arroz inicia desde la clasificación de la semilla la cual es importante para que exista un buen porcentaje de germinación, luego el proceso de cultivo que se lo realiza mediante voleo este puede ser manual o por uso de avionetas, una vez realizada la germinación es importante tener un control sobre el cultivo para aumentar la posibilidad de floración y calidad del arroz, una vez que la planta florece debe llegar a la etapa de madurez para obtener las espigas que contiene el fruto de arroz.

La cosecha del grano de arroz depende del porcentaje de arroz que varía entre 22% al 26%, el proceso de cosecha puede ser manual y para grandes extensiones se utiliza cosechadoras autopropulsadas que recopila entre 60 a 100 quintales por hora, luego es almacenada para luego ser apiladas y según la cantidad de humedad se realiza la descascarado y limpiado, para luego ser comercializado ²⁰.

2.5.2 PRODUCCIÓN DE ARROZ Y TAMO DE ARROZ.

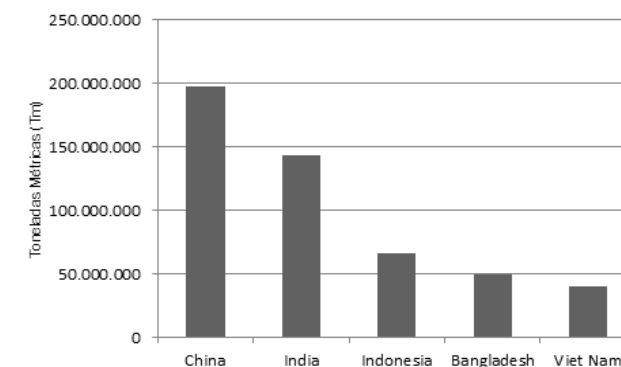
Según las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO.) el continente asiático es considerado el mayor productor de arroz a nivel mundial cubre el 90% de la producción, seguido de América Latina con el 5,44%, a continuación se presenta una comparativa de la producción de arroz a nivel mundial que se muestra en el Grafico 2.



I 15. Tamo de arroz.

Fuente: www.ecologiaverde.com

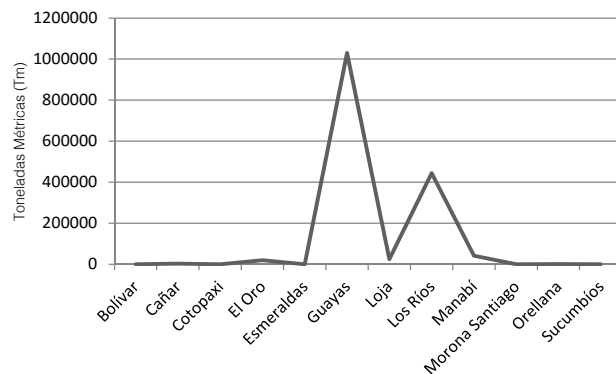
Grafico 2: Datos de producción mundial de Arroz.



Fuente: Elaboración propia según datos de la FAO.

20 Quiceno, David, y Marvin Mosquera. Alternativas tecnologicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible. Santiago de Cali: Universidad Autonoma de Occidente, 2010.

Grafico 3: Producción de arroz por provincias del Ecuador.



Fuente: Elaboración propia según datos del MAGAP.

Tabla 3: Propiedades físicas del tamo de arroz

PROPIEDADES TAMO DE ARROZ.	
Estado	Sólido granulado
Color	Marrón
Olor	Característico del grano
Largo	4-14mm
Ancho	2-4mm
Espesor promedio	50um
Peso	2.94-3.56 mg
Densidad específica	1420 Kg/ m ³
Densidad aparente	124 Kg/ m ³

Fuente: Elaboración propia según datos obtenidos de Calero y Vasconez.

El Ecuador es uno de los países de América latina que más exporta con un 0.31% seguido de Colombia y Perú. A nivel mundial el país considerado mayor exportador es Tailandia con el 25,63%.

La producción de arroz en el Ecuador ha crecido en los últimos años, según datos del Ministerio de Agricultura MAGAP , desde el año 2000 fue 971.806 Tm y en el año 2012 es de 1.565.535 Tm y para el 2015 se estima un crecimiento del 3%, con lo cual, existe una tendencia de crecimiento de la producción de arroz. Las provincias con mayor producción son: Guayas, Los Ríos y Manabí, con una extensión de 382.230 hectáreas (Ha), existe dos tipos de producción la de invierno y verano de los cuales se produce arroz con cascara, sin cascara, elaborado y quebrado. En el Grafico 3 se muestra la distribución de la producción de arroz por provincias del Ecuador ²¹.

La producción de arroz genera el 22% del residuo agroindustrial llamado tamo de arroz, es decir que en el Ecuador anualmente se genera 344417,76 Tm de este residuo, las cuales muchas veces son incineradas o desechadas para abono ²².

2.5.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL TAMO DE ARROZ.

Para conocer las características del tamo de arroz nos basamos en investigaciones previas que nos permite tener una referencia teórica en la presente investigación. Los datos obtenidos determinan características físicas y químicas que en lo posterior serán referentes para los

cálculos de los paneles a desarrollar. La densidad del tamo de arroz es un dato importante ya que este depende de la forma de cómo se presenta dado su nivel de extender y comprimir, en la agricultura se definen tres tipos de densidades: de granel, aparente y específica²³.

La densidad específica es mayor a las anteriores debido a que no se considera la porosidad, lo que le hace más pesada si se compacta el tamo de arroz. Estos datos son importantes ya que en el proceso de desarrollo experimental de diseño del panel, se requiere aplicar presión en la mezcla para obtener mayor compactación y solidez. Las características químicas están asociadas a la cantidad de humedad y elementos que permita el de-grado del tamo por lo que se debe inmunizar las fibras, por la razón, que contiene un alto porcentaje de celulosa del 45,38%.

Una de las características importantes para el desarrollo de los paneles es el nivel de porosidad, que consiste en medir el volumen de aire y la masa de tamo de arroz, información recopilada del estudio de Quinceno y Mosquera; indican que de forma transversal el 85% es ocupado por aire y el 15% de tamo ²⁴, evidenciando que debemos mantener un criterio de compactación para la elaboración de los paneles a diseñar considerando el nivel de aislamiento termo-acústico que es otro de los análisis a desarrollar. Además dado su alto nivel de sílice permite que este elemento no sea de fácil combustión por lo que se hace ideal para materiales de aislamiento térmico y acústico, dado su coeficiente de aislamiento térmico de 0.0360 W/mK.

21 Barcia Ruiz, Wendy. La Producción de Arroz en el Ecuador. 29 de octubre de 2012. <http://ambitoeconomico.blogspot.com/2012/10/la-produccion-de-arroz-en-el-ecuador.html> (último acceso: 25 de enero de 2016).

22 Celi Santiago, Gustavo Moreno, y Luis Tipanluisa. «Estudio experimental de la combustión de la cascarilla de arroz en una cámara de lecho fijo.» ResearchGate, 2015: 38-43.

23 Quiceno, David, y Mosquera, Marvin. Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2010:34.

24 Quiceno y Mosquera. Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz: 35.

2.6 PRUEBAS DE INMUNIZACIÓN DE FIBRAS VEGETALES.

Es necesario realizar un tratamiento de inmunización en la fibra vegetal seleccionada por ser un elemento orgánico, esto se controla con el proceso de inmunización. El tratamiento previo del tamo de arroz consiste en sumergirla durante veinticuatro horas en una solución en agua. Luego se escurre y se seca al aire hasta la condición de totalmente seca, para ser incorporada a las mezclas.

Para los tratamientos de inmunización se utilizó métodos de estudios sobre mineralización de fibras vegetales “Minihormigones con cascarilla de arroz natural y tratada como agregado granular”.²⁵ de Bizzotto, Natalini y Gómez y “Estudio y Experimentación de paneles estructurales y de revestimiento en base de la caña de la sierra”.²⁶ de Altamirano y Cueva, de esta manera se experimentó con dos métodos que a continuación se detalla:

• Método 1.- Se trata la cascarilla de arroz con agua de cal. La solución está compuesta por:

- 100 partes de Agua.
- 5 de Cal.
- Inmersión 24 horas.

• Método 2.- Por la composición química de las fibras vegetales, que consta de los mismos componentes de la madera: celulosa y lignina.

El proceso consiste en:

- 100 partes de Agua.
- 1 de Borax.
- 1 de ácido Bórico.
- Inmersión 24 horas.

Las conclusiones que se obtuvieron en cuanto a los procesos de inmunización de las fibras son las siguientes:

- Al realizar el método 1, se produce un cambio de coloración en el material. También se puede observar un deterioro del Tamo de Arroz.

- La cal son sustancias que afectan a las propiedades físicas de los materiales al ser hidratado el carbonato de calcio tiene una reacción química, produciendo en la fibra una pérdida de elasticidad, reseándola y haciéndola muy frágil.

- La formulación del método 2 compuesta de aditivos químicos que se disuelve en el agua, previo al mezclado de los componentes, consta de dos elementos químicos; un esterilizador y preservador para lograr inmunizar las fibras vegetales.

- El método 2 es el más acertado para usar como método de inmunización; pues no cambia la coloración del material y no causa una pérdida en la elasticidad. Este proceso es usado en la Madera y la Guadua para la fabricación de tableros.



I 16. Inmunización, método 1.

Fuente: Autor



I 17. Inmunización, método 2.

Fuente: Autor

25 Bizzotto, Marcela, Mario Natalini, y Gaspar Gomez. Minihormigones con cascarilla de arroz natural y tratada como agregado granular. Buenos Aires: Universidad Nacional del Nordeste, 1998.

26 Altamirano, Claudia, y Edmundo Cueva. Estudio y Experimentación de paneles estructurales y de revestimiento en base de la caña de la sierra. Cuenca: Universidad de Cuenca., 2011.



Universidad de Cuenca



2.7 MEZCLA Y COMBINACIÓN DE MATERIALES.

En este proyecto de investigación, se efectuaron pruebas experimentales con fibras vegetales de tamo de arroz con tratamiento previo para su preservación; a esta materia prima, se la combino con algunas alternativas de materiales estabilizadores y aglutinantes que han sido descritos anteriormente, con el objetivo de conformar materiales compuestos con características de buena resistencia mecánica.

En esta primera etapa experimental, se tomó como referencia investigaciones como: “Minihormigones con cascarilla de arroz natural y tratada como agregado granular”.²⁷ de Bizzotto, Natalini y Gómez y “Panel de fibra vegetal para divisiones de espacios interiores”.²⁸ de Segio Reyes, que considera materiales aglomerados con tamo de arroz. En estas investigaciones, se basarán el procedimiento de elaboración y la forma de relacionar los componentes de las diferentes mezclas.

Para poder evaluar la resistencia mecánica de las muestras, debido a que su principal componente es un material lignocelulósico se utilizó la clasificación para madera laminada que consta en la norma NEC-SE-MD²⁹, que indica el valor de esfuerzos admisibles para cada grupo que corresponda, según su calidad, siendo A la de mejor calidad. Las unidades fueron transformadas de MPa a Kg/cm², para el presente trabajo como se presenta en la Tabla 4.

2.7.1 ELABORACIÓN DE MEZCLAS.

La combinación y dosificación de las alternativas de mezcla base, se efectuaron fundamentándose en los sistemas constructivos tradicionales y paneles compuestos por fibras naturales y vegetales, estudiadas en el Capítulo 1, en cuanto a la relación de sus materiales o componentes. Por ejemplo: la mezcla utilizada para el adobe o bahareque; *“El barro usado en los sistemas constructivos tradicionales en tierra generalmente posee un porcentaje que varía entre 60% - 80% de arena y 20% - 40% de arcilla-limos”*³⁰.

Se elaboraron diferentes combinaciones con los materiales estudiados en este capítulo, para obtener tres tipos de mezcla base que fueron evaluadas y comparadas, tanto en sus características como en sus propiedades físico - mecánicas de compresión y flexión simple. La dosificación se realizó de forma volumétrica, se calculó los volúmenes de los moldes en 375 cm³, volumen que fue multiplicado por un coeficiente de compactación de 2.2 y más un desperdicio del 20% que dio como resultado un volumen total de 1000 cm³ aproximadamente. Este volumen fue determinado por experimentación, debido al nivel de porosidad de la fibra de tamo de arroz y fue suficiente para obtener las distintas muestras para realizar las pruebas y ensayos necesarios.

Tabla 4: Esfuerzos admisibles para madera laminada.

ESFUERZOS ADMISIBLES		
Grupo	Compresión [kg/cm ²]	Flexión [kgf]
A	40	210
B	28	150
C	15	100

Fuente: Elaboración propia según la norma NEC: 2014

- 27 Bizzotto, Marcela, Mario Natalini, y Gaspar Gomez. Minihormigones con cascarilla de arroz natural y tratada como agregado granular. Buenos Aires: Universidad Nacional del Nordeste, 1998.
- 28 Reyes, Sergio Enrique. Panel de fibra vegetal para la división de espacios interiores. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2012.
- 29 MIDUVI. Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC. Capítulo 8. Estructuras de Madera. Quito: MIDUVI, 2014: 62.
- 30 Abad, Mateo, José Aguirre, y Freddy Pañega. Diseño de Paneles Prefabricados en Tierra. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2012.



I 18. Molde metálico de probetas.

Fuente: Autor



I 19. Probetas en estado endurecido.

Fuente: Autor

Tabla 5: Dosificación de probetas.

MUESTRA	FIBRA VEGETAL		ESTABILIZADOR					AGLUTINANTE			AGUA		VOLUMEN TOTAL
Molde A 5 x 5 x 5 cm.	Tamo de arroz [ml]	[%]	Arcilla [ml]	Arena Silícea [ml]	Cal Hidratada [ml]	Yeso [ml]	[%]	Resina de Vynil [ml]	Silicato de Sodio [ml]	[%]	Volumen de Agua [ml]	[%]	100%
P1	540	54	270	-	30	-	30	30	-	3	130	13	1000
P2	440	44	220	-	100	-	32	30	-	3	210	21	1000
P3	460	46	-	156,6	37,8	210,6	41	27	-	2,7	108	11	1000
P4	460	46	-	156,6	37,8	210,6	41	27	-	2,7	108	11	1000
P5	570	65	-	190	-	-	22	0	90	10	30	3,4	880
P6	600	65	-	180	-	-	20	0	120	13	20	2,2	920

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2 Descripción de probetas ensayadas para compresion simple

Para las pruebas de compresión simple, luego de la elaboración de las mezclas, se utilizaron moldes metálicos, que contienen tres espacios con medidas de 5 x 5 x 5 cm., para la producción de distintas muestras o probetas, con el fin de poder someterlas a pruebas y ensayos en el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca. En la Tabla 5, se especifican las dosificaciones y cantidades que se requieren para conseguir alrededor de 1000 cm³ de mezcla.

Siguiendo el procedimiento de Reyes, la elaboración de las diferentes mezclas se realizaron mezclando en primer lugar los componentes secos (arcilla, cal hidratada, yeso, arena, cascarilla) hasta tener una composición uniforme, luego se disolvió de manera separada los componentes líquidos (la cola o el silicato de sodio) con agua; y finalmente se mezcla ambas combinaciones, seca y líquida,

hasta obtener una mezcla homogénea³¹. En esta fase de la investigación se desarrollaron 3 alternativas de mezcla base, y se elaboraron 6 probetas de 5x5x5 cm, dosificadas según se describe a continuación:

1. Probetas P1 y P2.- Se elaboraron a partir de la combinación de tamo de arroz, arcilla, cal hidratada y agua las proporciones están especificadas en la Tabla 5, la composición de la probeta P1 fue tomada de acuerdo con la tesis de Sergio Reyes cuyo procedimiento sirvió como referente inicial de este trabajo de investigación³², en la probeta P2 se cambió las proporciones con el fin de mejorar las propiedades de resistencia.

2. Probetas P3 y P4.- Se elaboraron a partir de la mezcla de tamo de arroz, arena silícea, cal hidratada y yeso las proporciones están especificadas en la Tabla 5. Esta formulación fue basada en la "Guía para morteros con cal"³³, de Emma López. Para este trabajo se incorporó la fibra vegetal de tamo de arroz, como material de mayor porcentaje en la mezcla.

31 Reyes, Sergio Enrique. Panel de fibra vegetal para la división de espacios interiores. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2012:44.

32 Reyes. Panel de fibra vegetal para la división de espacios interiores:51.

33 López, Emma. «Guía para morteros con cal.» 2012. www.ancade.com/files/.../guia-practicacal.pdf (último acceso: 28 de diciembre de 2015).

Tabla 6: Resultados de ensayos a compresión.

MUESTRA	RETRACCIÓN			PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO (EDAD 21 DIAS)			
Molde A 5 x 5 x 5 cm.	Largo [cm.]	Ancho [cm]	Altura [cm]	Peso 1 [g]	Peso 2 [g]	Densidad [g/cm³]	Resistencia a Compresión Simple [kg/cm²]
P1	4,8	4,8	4,8	99,5	99,1	0,90	13
P2	4,9	4,8	4,8	114,2	114	1,01	30
P3	4,9	4,9	4,8	119,9	110	1,04	18
P4	4,9	4,9	4,9	149,9	146,5	1,27	29
P5	5	5	5	135,2	134,9	1,08	54
P6	5	5	4,9	156	155,5	1,27	67,7

Fuente: Elaboración propia.

3. Probetas P5 y P6.- Se elaboraron con la combinación de tamo de arroz, arena silíceo, silicato de sodio y agua, las proporciones están especificadas en la Tabla 5. La formulación de estas probetas fue asesorada por el Ing. Químico Oswaldo Cañizares, según sus estudios, con la mezcla de arena silíceo, silicato de sodio y al incorporar dióxido de carbono CO₂, esta mezcla se solidifica y endurece.

2.7.3 Determinación de resistencia de compresión simple de los materiales.

La resistencia de las probetas obtenidas se determinó mediante la prueba de rotura por compresión simple, este ensayo fue realizado a través de la norma ecuatoriana NEC-SE-MD; 2014, en el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura. Luego de haber sido desmoldadas las probetas cubicas de 5 x 5 x 5 cm, las muestras se secaron al aire libre bajo cubierta, hasta su ensayo de rotura por compresión simple a los 21 días. La prueba de compresión

simple se realizó bajo la dirección técnica del Arq. Edison Castillo, Los equipos utilizados se especifican en el capítulo 3, el procedimiento seguido durante los ensayos fue:

- Pesaje de probetas.
- Medición de dimensiones de las muestras.
- Calculo de volumen.
- Calculo de densidad.
- Ensayo de compresión simple.
- Tabulación de datos obtenidos.

Se detallan los resultados obtenidos de las diferentes probetas en la Tabla 6, que muestra el peso y densidad del material aglutinado endurecido y la resistencia de compresión simple a la edad de 21 días. Una vez ejecutado los ensayos las muestras se volvieron a pesar (Peso 2) para observar el desprendimiento del material. La mayor resistencia a compresión simple obtenida es de 67.7kg/cm², este valor esta sobre el valor requerido en la Norma NEC-SE-MD; 2014.



I 19. Muestra o probeta para ensayos mejorada, P5.

Fuente: Autor.



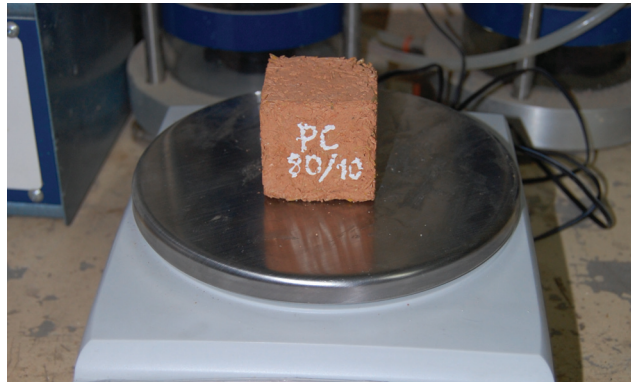
I 20. Ensayo a compresion simple.

Fuente: Autor.



I 21. Máquina para pruebas a compresion simple.

Fuente: Autor



I 22. Pesaje de probetas.

Fuente: Autor



I 23. Medicion de probetas.

Fuente: Autor



I 24. Visualización de datos de las pruebas.

Fuente: Autor



I 25. Agrietamiento en probeta P1.

Fuente: Autor



I 26. Agrietamiento en probeta P4.

Fuente: Autor



I 27. Fisuramiento en probeta P5.

Fuente: Autor



2.7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En las probetas P1 y P2 con contenido de arcilla, se apreció que hubo retracciones en las dimensiones de las probetas, que es debido a la plasticidad del material estabilizador. La probeta P1 tiene la más baja resistencia a compresión simple, en la probeta P2 mejoró esto por el aumento del porcentaje de los componentes de cola blanca y cal hidratada. En consecuencia disminuyó porcentualmente la cantidad de fibra de tamo de arroz.

- Las probetas P3 y P4 presentaron buenos resultados y menos retracciones en las mismas, al incorporar yeso a la mezcla de las muestras, pero al igual que los casos anteriores hubo roturas en las muestras y luego de los ensayos se pudo observar fisuramiento debido a la ruptura por compresión.

- Las probetas P5 y P6 presentaron menos retracciones y mejores características de trabajabilidad, así como propiedades físico-mecánicas favorables para el desarrollo del material para el panel, debido también a la facilidad de mezcla de sus componentes. La probeta P6 presentó el más alto nivel de resistencia, las probetas no mostraron fisuras.

Luego del análisis de resultados, todas las muestras presentaron buenas características de resistencia a compresión simple, pero las opciones que contienen arcilla, yeso y cal hidratada, presentaron problemas de fragmentación en las esquinas de las muestras. Además, estos componentes degradarían a la fibra a largo plazo, causando su descomposición.

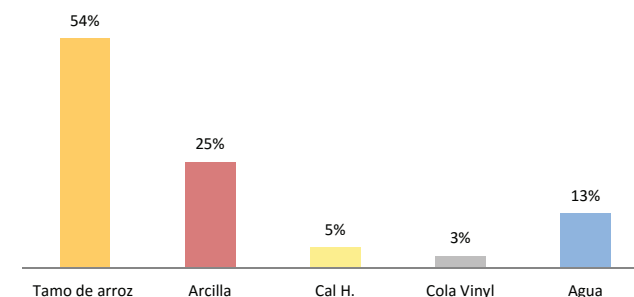
2.7.5 MÉTODO Y ELABORACIÓN DE PLACAS PARA COMPARACIÓN DE MEZCLAS BASE.

Una vez obtenidas las diferentes mezclas base, compuestas por tamo de arroz y distintos tipos de estabilizadores y aglutinantes, se elaboraron placas constituidas por los materiales compuestos determinados anteriormente. Con el fin de desarrollar una comparación, entre el material antecedente de esta investigación, que fue tomado de la Tesis de Sergio Reyes (Propuesta 1), con las otras dos propuestas desarrolladas por el autor (Propuestas 2 y 3). De esta manera, se realizaron ensayos de flexión simple para poder analizar las muestras, con sus diferencias y características, y poder establecer la propuesta más adecuada para el diseño del panel.

Siguiendo el proceso de Reyes para la elaboración de las placas, se utilizaron moldes de madera de 15cm x 20cm y espesor variable, para conformar las distintas probetas, se incorporó mallas metálicas en todas las muestras.³⁴ La dosificación se realizó de forma volumétrica, con un volumen total de alrededor de 1000 cm³ de mezcla que fue determinado por experimentación, debido al nivel de porosidad de la fibra de tamo de arroz. Con lo cual, se obtuvieron placas de 2 cm de espesor aproximadamente.

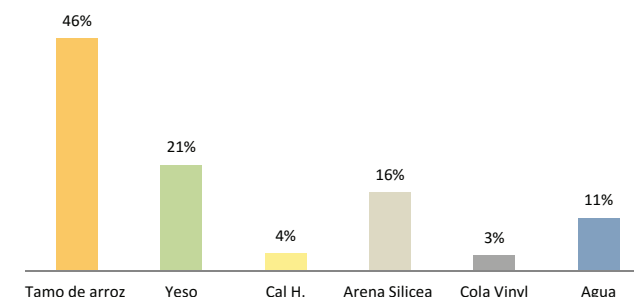
Las muestras fueron sometidas a pruebas y ensayos en el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca. Se elaboraron 3 propuestas de placas de 20cm x 15 cm y 2cm de espesor aproximadamente que fueron dosificadas volumétricamente, en las figuras se muestran los porcentajes de dosificación de cada propuesta.

Figura 1: Porcentajes de dosificación-Propuesta 1



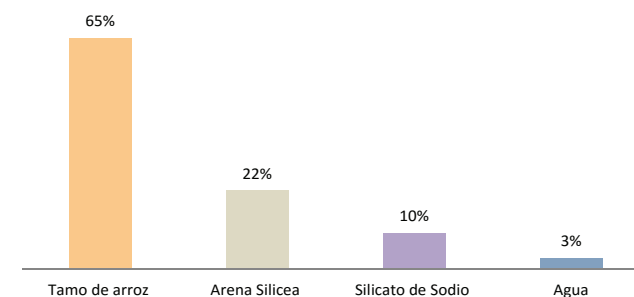
Fuente: Autor

Figura 2: Porcentajes de dosificación-Propuesta 2



Fuente: Autor

Figura 3: Porcentajes de dosificación-Propuesta 3



Fuente: Autor

³⁴ Reyes, Sergio Enrique. Panel de fibra vegetal para la división de espacios interiores. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2012:45.



28. Placa F1 (Propuesta 1).

Fuente: Autor



29. Placa F4 (Propuesta 2).

Fuente: Autor



30. Placa F5 (Propuesta 3).

Fuente: Autor

Tabla 7: Dosificación de probetas.

MUESTRA	FIBRA VEGETAL		ESTABILIZADOR					AGLUTINANTE			AGUA		VOLUMEN TOTAL
Molde A 5 x 5 x 5 cm.	Tamo de arroz [ml]	[%]	Arcilla [ml]	Arena Silícea [ml]	Cal Hidratada [ml]	Yeso [ml]	[%]	Resina de Vynil [ml]	Silicato de Sodio [ml]	[%]	Volumen de Agua [ml]	[%]	100%
F1	540	54	270	-	30	-	30	30	-	3	130	13	1000
F2	440	44	220	-	100	-	32	30	-	3	210	21	1000
F3	460	46	-	156,6	37,8	210,6	41	27	-	2,7	108	11	1000
F4	460	46	-	156,6	37,8	210,6	41	27	-	2,7	108	11	1000
F5	570	65	-	190	-	-	22	0	90	10	30	3,4	880
F6	600	65	-	180	-	-	20	0	120	13	20	2,2	920

Fuente: Elaboración propia.

Se desarrollaron 6 placas, las cuales variaron su composición, según se describe a continuación:

1. Placas F1 y F2 (Propuesta 1).- Elaboradas a partir de la combinación de tamo de arroz, arcilla, cal hidratada y agua las proporciones están especificadas en la Tabla 7, la composición de la probeta F1 fue tomada de acuerdo con la Tesis de Sergio Reyes.

2. Placas F3 y F4 (Propuesta 2).- Elaboradas a partir de la mezcla de tamo de arroz, arena silícea, cal hidratada, yeso y agua, las proporciones están especificadas en la Tabla 7. La propuesta fue formulada por el autor, basada en la "Guía para morteros con cal" de Emma López.

3. Placas F5 y F6 (Propuesta 3).- Elaboradas a partir de la combinación de tamo de arroz, arena sílice, silicato de sodio y agua, las proporciones están especificadas en la Tabla 7. Esta propuesta fue formulada por el autor con el asesoramiento del Ing. Químico Oswaldo Cañizares, de la fábrica de productos fundidos Profunca.

2.7.6 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LOS MATERIALES.

Los datos obtenidos mediante la prueba de rotura por flexión simple a tres puntos, son comparados a través de la norma ecuatoriana NEC-SE-MD; 2014, para madera estructural. Las placas de 15cm x 20cm se secaron al aire libre bajo cubierta, hasta su ensayo de rotura por flexión simple a los 15 días. Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca. La prueba de flexión simple se realizó bajo la dirección del Arq. Edison Castillo, Los equipos utilizados se especifican en el capítulo 3, el procedimiento seguido durante los ensayos fue:

- Pesaje de probetas.
- Medición de dimensiones de las probetas.
- Calculo de volumen.
- Calculo de densidad.
- Ensayo de flexión simple.
- Calculo de resistencia obtenida.

Tabla 8: Resultados de ensayos a compresión.

DOSAJE	RETRACCION			PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO (EDAD 15 DIAS)			
Molde B 20 x15cm. e. variable	Largo [cm]	Ancho [cm]	Espesor [cm]	Peso 1 [g]	Peso 2 [g]	Densidad [g/cm ³]	Resistencia a Flexión Simple [kgf]
F1	19,8	14,8	1,8	579,5	578	1,10	59
F2	19,7	14,8	1,8	505	503,9	0,96	125
F3	19,9	14,9	2,1	708,6	708,6	1,14	162
F4	20	14,9	2	701,3	699	1,18	192
F5	20	15	1,9	700,8	700,1	1,23	135
F6	20,1	15	2	708,5	707,2	1,17	150

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de las pruebas de flexión simple, de las diferentes probetas ensayadas se muestran en la Tabla 8.

2.7.7 CONCLUSIONES Y ANÁLISIS

- En las placas F1 y F2 se observó retracciones de 2mm en las dimensiones de las muestras, que es debido a la plasticidad de la arcilla que contienen. Estas muestras tienen la resistencia a flexión simple más baja.

- Las placas F3 y F4 presentaron buenos resultados, al incorporar yeso a la mezcla de las muestras, luego de los ensayos se pudo observar mayor desprendimiento del material debido a la rotura. La muestra F3 presentó el más alto nivel de resistencia,

- Las placas F5 y F6 igualmente presentaron menos retracciones y buena resistencia físico-mecánicas favorables para el desarrollo del material para el panel, las probetas no mostraron mayores fisuras.

Las muestras en general presentaron buenas características de resistencia. Las muestras con la composición tomada de la Tesis de Sergio Reyes obtuvieron los valores más bajos, mientras que las muestras compuestas con yeso y cal presentaron mayores valores de resistencia a flexión simple. Sin embargo, estas propuestas no serían las más adecuadas debido a que el proceso de fraguado de sus componentes como la cal y el yeso degradan a las fibras vegetales, además la cola o resina de vinyl puede crear hongos.

Se adoptó como mezcla base la formulación de las probetas P5 y F5 (Propuesta 3), por tener mayor porcentaje de fibra vegetal en su composición, a la vez que el aglutinante de silicato de sodio recubre a la fibra y la protege de la degradación. El menor número de componentes facilita además el proceso de fabricación; la resistencia a compresión simple es de 54 Kg/cm² que le ubica en la categoría A y la resistencia de flexión simple es de 135 Kgf que lo ubica en el grupo C, de acuerdo a la normativa establecida NEC-SE-MD; 2014; esta mezcla base es con la que se desarrolló y tecnificó el diseño del panel en el Capítulo 3.



I 25. Agrietamiento en placa F1.

Fuente: Autor



I 26. Agrietamiento en placa F4.

Fuente: Autor



I 27. Fisuramiento en placa F5.

Fuente: Autor

CAPITULO 3

DESARROLLO EXPERIMENTAL





Universidad de Cuenca



3.1 PANELES PREFABRICADOS CON FIBRAS NATURALES.

En el capítulo anterior se determinó la combinación de materiales, para obtener la mezcla base que compone el panel de fibras naturales, propuesto en esta investigación. La cual, fue comparada con la formulación de otras propuestas de paneles similares, que sirvieron de antecedentes para esta investigación.¹ Teniendo buenos aportes como la disminución de componentes, el aumento de porcentaje de fibras vegetales y mejores características físico mecánicas. De igual manera, para el proceso de fabricación del panel prefabricado se fundamentó en la producción de los tableros de partículas aglomeradas, los cuales se componen de materiales lignocelulósicos².

En el desarrollo experimental, la producción de las primeras muestras se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Arquitectura; mientras que la producción de los paneles finales se realizaron en los talleres de mecánica de la Unidad Educativa Técnico Salesiano. En donde, se utilizó; mezcladoras metálicas y una prensa manual. De esta manera, se dio un aporte para tecnificar el proceso de producción de la propuesta de paneles compuestos por fibras vegetales de tamo de arroz.

Con los antecedentes estudiados, se procedió a desarrollar el panel compuesto de tamo de arroz, que es un residuo proveniente de la agroindustria. Este recurso fue combinado con materiales estabilizadores como arena

silíceo y fibras de cabuya, los cuales están conglomerados con una resina aglutinante de silicato de sodio. Todos estos materiales se pueden conseguir en la región a precios relativamente módicos (los costos se especifican en el anexo 2) y no provienen de lugares lejanos.

La mezcla de estos materiales tiene buenas propiedades de trabajabilidad, compactación y con la aplicación de dióxido de carbono CO_2 , esta mezcla se solidifica rápidamente, lo cual facilita el proceso de producción en serie del panel. Este proceso fue asesorado por el Ing. Químico Oswaldo Cañizares de la fábrica de fundiciones Profunca. En el proceso de fabricación se le da un tratamiento a la fibra de tamo de arroz, para su preservación y se realiza un tamizado para eliminar las impurezas. Luego es mezclado con la arena y el aglutinante y se coloca por capas en un molde para formar un colchón que es compactado manualmente y con una prensa manual.

Para llegar a la formulación con mejores prestaciones se realizaron muestras con distintas dosificaciones, las cuales fueron sometidas a pruebas físico-mecánicas para evaluar y tecnificar el proceso. Con la mezcla base establecida se desarrolló el diseño final del panel prefabricado compuesto por fibras naturales. Se realizó un proceso de prediseño y diseño del panel, así como una propuesta de instalación, que se describe en los siguientes puntos.

-
- 1 Reyes, Sergio Enrique. Panel de fibra vegetal para la división de espacios interiores. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2012.
 - 2 Chan, Mario H., Omar Araujo, Manuel Azueta, y Luis E. Solís. «Tableros de madera de partículas.» Ingeniería Revista Académica, 2004: 39-45.

3.2 NORMAS TÉCNICAS.

Las normas técnicas son documentos que contienen especificaciones, cuyo propósito es normalizar y constituir métodos de pruebas para establecer los parámetros físico-mecánicos, así como los requerimientos de calidad que deben cumplir los elementos constructivos. Por la composición en mayor porcentaje de material lignocelulósico o fibras vegetales en la mezcla base, se incorporara normativas de tableros de partículas aglomeradas, así mismo por la característica del aglutinante será para usos interiores. En esta investigación se realizó un estudio de diferentes normativas, tanto nacionales como extranjeras, para determinar las propiedades y características del panel. Las normas se aplican en el desarrollo del diseño experimental y son las que nos dan los procedimientos para obtener parámetros, que permiten evaluar y analizar los procesos. Las normas técnicas incorporadas en esta investigación son:

- NTC 2261: 2012 Tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones de interiores no estructurales.
- NTE INEN 897: 2005. Tableros de madera aglomerada. Determinación de la densidad aparente.
- NTE INEN 896: 2005. Tableros de madera aglomerada. Determinación del contenido de humedad.

3.3 PARÁMETROS FÍSICO – MECÁNICOS

Para determinar las propiedades físico-mecánicas del panel propuesto, se aplicó principalmente la norma técnica colombiana NTC 2261:2003 en la que menciona; *“establecer las características que deben cumplir los*

*tableros de partículas aglomeradas de madera u otro material lignocelulósico, sin recubrimiento para aplicaciones interiores no estructurales”*³. Además se utilizó la norma americana ANSI 208.1:1999, estas normativas se basan en la norma ASTM D 1037 “Métodos estándar para evaluación de la propiedades de tableros aglomerados a base de fibras de madera”. De esta manera, se rigió a la clasificación y requisitos mínimos para tableros de partículas aglomeradas que se establecen en la norma NTC 2261:2003 y ANSI 208.1:1999. Para la aplicación en este trabajo de investigación se realizó una conversión de unidades. De acuerdo a estas normas los tableros se pueden clasificar según la distribución de las partículas, la densidad y por la resistencia mecánica de la siguiente manera.

- a) Según la distribución de las partículas:
 - Tablero de una sola capa.
 - Tablero de capas múltiples.
 - Tablero de distribución continua de partículas.
- b) Según la densidad:
 - Tablero de baja densidad.
 - Tablero de media densidad.
 - Tablero de alta densidad.
- c) De acuerdo a las propiedades físico-mecánicas:
 - Tablero de grado alto, HG.
 - Tablero de grado medio especial, MGS.
 - Tablero de grado medio uno, MG1.
 - Tablero de grado bajo, LG.
 - Tablero de baja densidad, LD2.
 - Tablero de baja densidad, LD1.

3 INCONTEC. Tableros de Partículas Aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales. Bogotá: INCONTEC, 2003.



El procedimiento para obtener los parámetros físico-mecánicos que se analizaron en esta investigación se estudian en los siguientes numerales.

3.3.1 DENSIDAD APARENTE.

La densidad o peso específico es la magnitud física que mide la relación entre la masa de un cuerpo y su volumen. La masa se define como la cantidad de materia que contiene un cuerpo, generalmente su unidad de medida es el gramo (g); mientras que, el volumen puede definirse como el espacio físico que ocupa la materia, el volumen por lo general se mide en centímetros cúbicos (cm³) y también en mililitros (ml). La determinación de este parámetro fue bajo la norma NTE INEN 897:2005; la unidad de medida de la densidad es el kilogramo por metro cúbico, pero para los procesos experimentales de este trabajo se utilizó gramos por centímetros cúbicos (g/cm³). Para la determinación de este parámetro, es necesario el siguiente equipo:

- Calibrador.- Para determinar el espesor de las muestras, que permita realizar lecturas con una aproximación de 0.1 mm.
- Cinta métrica.- Para determinar el largo y el ancho de las muestras, que permita realizar lecturas con una aproximación de 1 mm.
- Balanza.- Para determinar la masa, que permita tener lecturas con aproximación de 0.1 g.

Se preparan las muestras con los bordes rectos, limpios y sin protecciones, y se establece la densidad con el siguiente procedimiento:

1. Se determina la masa de las muestras.
2. Se mide el espesor de las muestras, en cuatro puntos opuestos de la probeta, el espesor efectivo es el promedio de las 4 medidas.
3. Se mide el largo y el ancho de las muestras. El ancho y largo efectivo de las probetas es el promedio de cada dos medidas paralelas.
4. Con las medidas conseguidas se obtiene el volumen de la probeta.
5. Se calcula la densidad aparente mediante la fórmula:

$$D = M / V$$

En donde:

D = densidad en g/cm³.

M = masa de la probeta en gramos.

V = volumen en cm³.

3.3.2 MÓDULO DE RUPTURA (MOR).

Este parámetro evalúa la fuerza que puede resistir una muestra o placa en un ensayo de flexión estática, con una carga central y 2 apoyos en los extremos. Fundamentalmente es la resistencia máxima a la flexión de un cuerpo que soporta una carga hasta el momento de ruptura o fallo de sus propiedades geométricas. Para la obtención de este parámetro se trató la norma NTC 2261:2003, en la cual se expresa el módulo de ruptura MOR en N/mm², pero en este trabajo se utiliza las unidades en Kg/cm². Los valores mínimos admisibles para tableros de partículas se presentan en la Tabla 10.

Tabla 9: Clasificación de tableros de partículas según densidad.

Grado	Designación	Densidad [kg/cm ³]
Baja	L	menor de 500
Media	M	entre 500 - 800
Alta	H	mayor de 800

Fuente: Elaboración propia según la norma NTC 226.

Tabla 10: Requisitos MOR. y CH. para tableros de partículas.

Grado	MOR [kg/cm ²]	CH [%]
HG	210	5-11
MG-S	145	5-11
MG-1	110	5-11
LG	80	5-11
LD-2	50	5-11
LD-1	30	5-11

Fuente: Elaboración propia según las normas NTC 226 y ANSI 208.1.

El equipo necesario para realizar este ensayo son los mismos utilizados para medir el espesor, largo y ancho de las muestras mencionados anteriormente, concretamente para determinar el módulo de ruptura es necesario una máquina para ensayos de resistencia de materiales, que cuente con dos apoyos paralelos, con distancia regulable. Los apoyos pueden ser redondos o planos. El procedimiento para establecer el módulo de ruptura es el siguiente:

1. Se preparan las muestras con los bordes rectos, limpios y sin protecciones.
2. Se mide el largo y el ancho de las muestras.
3. Se mide el espesor de las muestras en 3 puntos del eje transversal, en el centro y los otros dos a los extremos de las probetas. El promedio de las mediciones se toma como el valor del espesor.
4. Se somete a la probeta a una carga puntual aplicada en todo lo ancho de la muestra, perpendicular al plano de la superficie y equidistante de los puntos de apoyo.
6. Se registra los datos expuestos
7. El módulo de ruptura se expresa en Kg/cm² y se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$MOR = (3 \times P \times l) / (2 \times a \times e^2)$$

En dónde:

MOR: Módulo de Ruptura.

P: Carga puntual aplicada.

l: Luz de apoyo.

a: Longitud transversal de la probeta.

e: Espesor de la probeta.

3.3.3 CONTENIDO DE HUMEDAD.

Este parámetro es el porcentaje de humedad o cantidad de agua que se encuentra dentro de un cuerpo o material, este porcentaje de humedad aumentará o disminuirá dependiendo de la humedad relativa del ambiente, con la tendencia siempre de estar en equilibrio. Se determina la humedad sobre las mismas probetas ensayadas se aplica la norma NTE INEN 896:2005. Luego de determinar la masa en una balanza de precisión, para establecer este parámetro es necesario un horno capaz de mantener una temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. La preparación de las muestras puede ser realizada con probetas de cualquier forma y dimensión.

Para la determinación del contenido de humedad de las muestras se sigue el siguiente procedimiento:

1. Medir la masa de las muestras en la balanza de precisión.
2. Ingresar las muestras al horno, comprobar mediante determinaciones consecutivas en intervalos de una hora.
3. Determinar el contenido de humedad expresado en porcentaje de masa mediante la siguiente fórmula:

$$CH = (M1 \times M2) / M2 \times 100$$

En donde:

CH = contenido de humedad en porcentaje de masa

M1 = masa inicial de la muestra en g.

M2 = masa seca de la muestra en g.

3.3.4 EQUIPOS PARA OBTENCIÓN DE DATOS.

- Máquina para ensayos de resistencia.- Es un instrumento de medición de parámetros de resistencia mecánica de compresión y flexión, equipada con un mecanismo de carga con motores eléctricos, los datos son visualizados a través de una pantalla. El aparato utilizado para los ensayos realizados en esta investigación tiene la siguiente descripción: marca L. International ACCU-TEK Touch 350 m, mediante la norma ASTM C-39; AASTHTO T-22 con capacidad de 1.555KN (350000 lbf) .

- Balanza.- La balanza empleada para pesar las muestras, debe determinar la masa de las mismas con un nivel de precisión de 0.1% de su masa total. Sus especificaciones son balanza marca Ohaus mecánica triple beam, de 26100 gr.x 0.1 gr. de precisión.

- Horno.- Equipo para determinación de contenido de humedad como se especifica en la norma NTE INEN 896. Horno eléctrico marca Humboldt para secado de muestras, capacidad 198l circulación de aire a presión con ventilador controlador de temperatura desde ambiente hasta 149-c (300f) dimensión interna 648x508x610mm incluye dos repisas ajustables.

- Cinta metrica, micrómetro u otro instrumento adecuado para medir las dimensiones físicas de las muestras dentro del 0.1% de la dimensión medida.



I 01. Máquina para pruebas de resistencia.

Fuente: www.ele.com



I 02. Balanza electronica.

Fuente: img.directindustry.es



I 03. Horno para calculos de CH.

Fuente: <http://www.hoskin.ca>



Universidad de Cuenca

3.4 PREDISEÑO Y PROCESO DE PRODUCCIÓN.

Una vez obtenida la mezcla base estudiada en el capítulo anterior, el propósito de esta etapa inicial de prediseño, fue formular la composición ideal de la mezcla y determinar el proceso de producción del panel. Existen antecedentes sobre la elaboración de paneles aglomerados de tamo de arroz, pero con distintos materiales agregados, estabilizadores y aglutinantes, sin resultados contundentes. Luego de haber realizado una investigación bibliográfica se concluyó que no existen estudios de paneles que incorporen los materiales compuestos utilizados en esta investigación.

La mezcla de componentes principales determinada para desarrollarse en esta investigación fue de tamo de arroz, arena silíceo y como resina aglutinante silicato de sodio. Según las características de esta resina, es susceptible a la humedad; por lo cual, el panel propuesto es para usos y aplicaciones interiores. En la etapa de prediseño se realizó modificaciones a la mezcla base; de esta forma por medio de pruebas de laboratorio, aplicando normas técnicas y obteniendo los datos de parámetros físico-mecánicos, se analizó y calificó las distintas mezclas o dosificaciones presentadas en la etapa de prediseño.

“Para la determinación de la composición del panel es necesario realizar los ensayos pertinentes con el fin de establecer una dosificación idónea”⁴.

3.4.1 MÉTODO Y DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS.

Para el desarrollo experimental del prediseño y diseño del panel, se utilizó como componentes principales, el tamo de arroz, que se puede obtener por sacos en distribuidoras de la parroquia San Joaquín en la ciudad de Cuenca, a 0.30 dolares por saco; este residuo agroindustrial es procedente de las piladoras arroceras de la región costa del Ecuador. De igual manera se utilizó arena silíceo proveniente de minas de la provincia de Zamora Chinchipe, sur oriente del país, a 5 dolares por saco. Al tamo de arroz se le trató previamente con un proceso que consiste en sumergirla en una solución de bórax y ácido bórico al 1% en agua, durante 24 horas. Luego se retira la solución y se deja al aire libre hasta que la fibra quede completamente seca, para luego ser tamizada y agregada a la mezcla.

Para la elaboración de la mezcla base, la arena obtenida debe contener alta sílice y en lo posible debe estar libre de arcilla, puede contener hasta un máximo de 1% de arcilla. La distribución granulométrica ideal es de 3 a 4 mallas con índice de finura entre 60 y 100. El aglutinante que se utilizó es silicato de sodio ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Si}_2\text{O}_3$ acuoso), proporcionada por la planta de fundiciones metálicas Profunca de la ciudad de Cuenca, su modulación más conveniente es de 2.4 (relación $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$). Este compuesto se gelatiniza y endurece con el contacto de CO_2 .



I 04. Mezcla de componentes.

Fuente: Autor.



I 05. Probeta obtenida.

Fuente: Autor.

4 Reyes, Sergio Enrique. Panel de fibra vegetal para la división de espacios interiores. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2012.



I 06. Muestras para ensayos y pruebas.

Fuente: Autor.



I 07. Pesaje de muestras.

Fuente: Autor.

Tabla 11: Dosificación de las muestras para ensayos.

MUESTRA	FIBRA VEGETAL		ESTABILIZADOR		CONGLOMERANTE		AGUA		TOTAL	SECADO
Molde B 15 x 20 cm. espesor variable	Tamo de arroz [ml]	[%]	Arena Silícea [ml]	[%]	Silicato de Sodio [ml]	[%]	Volumen de Agua [ml]	[%]	Volumen 100% [ml]	Tiempo [días]
H1	570	64,8	190	22	90	10,2	30	3,41	880	8
H2	570	64,8	190	22	90	10,2	30	3,41	880	8
H3	600	68,2	160	18	90	10,2	30	3,41	880	8
H4	600	68,2	160	18	90	10,2	30	3,41	880	8
H5	640	72,7	120	14	90	10,2	30	3,41	880	8
H6	640	72,7	120	14	90	10,2	30	3,41	880	8

Fuente: Elaboración propia.

La mezcla base lleva porcentajes de 10 a 30% de silicato de sodio, del volumen total de la muestra. Las mezclas se pueden preparar a mano en recipientes plásticos o metálicos, poniendo primero la arena seca y la fibra vegetal de tamo de arroz seco, una vez bien mezclados se agrega silicato de sodio, el que puede diluirse con una pequeña cantidad de agua. Es recomendable utilizar una mezcladora eléctrica, la mezcla se debe retirar de la maquina mezcladora después de 5 minutos para obtener una mezcla homogénea. Las mezclas tienden a endurecerse con el contacto del CO² contenido en el aire ambiental. Por lo tanto, para su almacenamiento debe utilizarse recipientes herméticos, pudiendo así conservarse. Es aconsejable preparar mezclas para medio día de consumo.

3.4.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se elaboraron moldes para fabricar muestras de 20cm x 15cm y espesores de 2 cm a 2.5cm, estas medidas

facilitaron realizar las pruebas de resistencia mecánica. Para la dosificación se fue reduciendo secuencialmente la cantidad de arena silícea del volumen inicial, reemplazando la diferencia por cantidades crecientes de tamo de arroz, manteniendo constante el volumen de la mezcla. Las probetas tuvieron un tiempo de secado de 8 días. Las muestras se denominan H1, H2, H3, H4, H5 y H6 respectivamente y las cantidades y proporciones volumétricas de sus componentes se muestran en la Tabla 11.

3.4.3 PRUEBAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Las pruebas y ensayos físico-mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca. con la colaboración del Arq. Edison Castillo, los resultados de los primeros ensayos de módulo de ruptura se muestran en la Tabla 12. Se siguió la misma secuencia de pruebas para todas las etapas de prediseño y diseño del panel, que se detallan a continuación.



Tabla 12: Resultados de ensayos de MOR.

MUESTRA	RETRACCIÓN			PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO (EDAD 21 DÍAS)				
Molde B 15 x 20 cm. espesor variable	Largo [cm]	Ancho [cm]	Esp. [cm]	Peso 1 [g]	Peso 2 [g]	Densidad [g/cm ³]	Carga Kgf	Módulo de Ruptura (MOR) [kg/cm ²]
H1	19,7	15	2,1	448	442	0,72	89	32,29
H2	19,9	15	2,1	445	438	0,71	88	31,93
H3	20	15	2,2	442	436	0,67	90	29,75
H4	19,8	15	2,2	440	435	0,67	91	30,08
H5	19,9	15	2,2	447	441	0,68	76	25,12
H6	19,9	15	2,2	448	440	0,68	75	24,79

Fuente: Elaboración propia.



I 08. Medición de espesor de muestras.

Fuente: Autor.

a. Densidad Aparente.- Para obtener los valores de densidad, se tomaron las dimensiones de las muestras, largo, ancho y espesor con calibrador y se obtuvo su masa en una balanza (Peso 1). Los parámetros de densidad de las muestras se obtuvieron según la norma NTE INEN 897:2005

b. Módulo de Ruptura.- Luego de haber obtenido las dimensiones y el peso de las muestras, se procede a marcar el centro de cada probeta. Las pruebas de flexión estática o módulo de ruptura (MOR) se realizó en la máquina de ensayo de resistencia en tres puntos, mediante un accesorio de apoyos y cargas puntuales, con una distancia entre apoyos de 16 cm. Los valores se obtuvieron siguiendo la norma NTC 2261:2003.

c. Contenido de Humedad.- Se procedió a determinar el contenido de humedad de cada una de las muestras luego de realizar el ensayo de modulo de ruptura, se verifican los pesos de cada una de las muestras en las ba-

lanzas antes y después de ser ingresadas en los hornos de secado. Las determinaciones se realizaron según la norma NTE INEN 896:2005.

3.4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados de los primeros ensayos de prediseño realizados de este trabajo se muestran en la Tabla 12, con lo cual, se procede con las siguientes análisis de los resultados obtenidos:

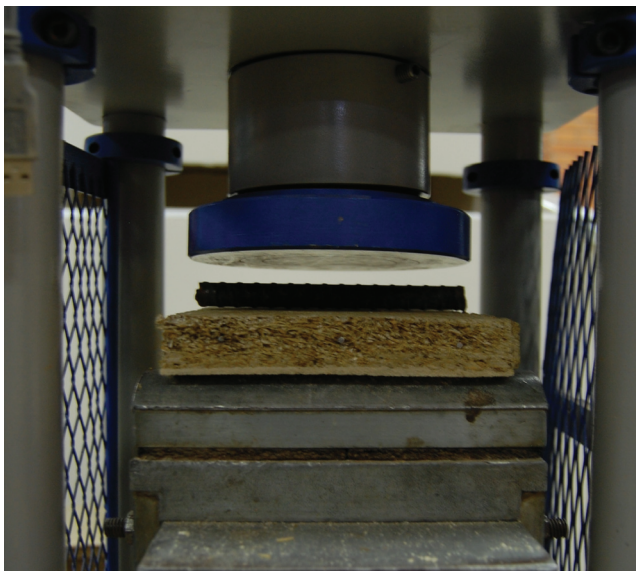
- El proceso de moldeado y compactación en el prediseño demuestra ser fácil y rápido debido a la arena que estabiliza la mezcla. Así mismo esta mezcla es eficiente y se compone de tres elementos facilitando y agilitando el proceso de producción.

- Luego de los ensayos las muestras se volvieron a pesar (Peso 2), se observó que no hay una disminución considerable debido a que no se produjo desprendimientos.



I 09. Máquina para ensayos de MOR.

Fuente: Autor.



I 10. Ensayo a flexión.

Fuente: Autor.



I 11. Agrietamiento en muestra, F1.

Fuente: Autor.

- El uso de silicato de sodio como aglutinante y arena sílice como estabilizador demostró ser una solución efectiva como material conglomerado con las fibras vegetales. El tamo de arroz en su composición contiene un alto porcentaje de sílice lo que hace que esta fibra sea muy compatible con el resto de componentes. El silicato de sodio genera una reacción química con la sílice al aplicar gas carbónico CO_2 cristalizándose instantáneamente.

- El prediseño es muy factible debido al componente mineral de la arena sílicea y el conglomerante. Los paneles no dependería solamente de ser expuestos al sol directa o indirectamente ya que esta mezcla reacciona con el CO_2 que contiene el aire del ambiente con lo que se gelatiniza y endurece. A la vez el silicato de sodio envuelve a la fibra vegetal mineralizándola y evitando su degradación.

- El silicato de sodio tiene un peso específico alto así las muestras obtuvieron densidades relativamente altas por lo que, en estas primeras pruebas, se va reduciendo gradualmente la cantidad de arena con el objeto de reducir el peso en las muestras dando como resultados la disminución del módulo de ruptura en las placas como se observa en la tabla 12.

- Los resultados, de módulo de ruptura son bajos por lo que en las siguientes experimentaciones se procedió a mejorar y tecnificar la mezcla base. Se tomó como referencia la dosificación de la muestra H1 para continuar con el mejoramiento y tecnificación del prediseño y diseño del panel.

3.4.5 TECNIFICACIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL.

Para tecnificar el proceso de producción y el diseño del panel, se procedió con el uso de una mezcladora mecánica, una prensa manual y la inyección de gas carbónico, para mejorar los defectos causados por el mezclado, compactación y tiempo de secado realizado en los ensayos anteriores, así como los problemas producidos durante el desmoldado. Esta etapa fue basada en el trabajo “Diseño de Paneles Prefabricados en Tierra”⁵, en el que se realiza un proceso experimental con una prensa hidráulica.

Se construyó moldes de 15cm x 20cm para la prensa en donde el espesor depende de la cantidad de material que se coloque dentro, como se mencionó anteriormente estas medidas establecidas facilitan las pruebas físico - mecánicas. La cantidad de mezcla colocada corresponde al volumen calculado para la sección requerida, debido a que la presión de la prensa reduce el volumen total. Una vez conformada la mezcla se procede a ponerla dentro del molde de la prensa, el cual previamente se forro con papel contac y luego se vertió diésel para evitar la adherencia de la mezcla al molde.

La mezcla debe mantenerse prensada durante 30 minutos aproximadamente, para que quede conformado la muestra, el tiempo estimado es según el proceso de experimentación, debido a la resistencia de la fibra y a su comportamiento elástico. Luego de ser prensado, se retira del molde, y se coloca en un sitio destinado para su secado. Al inyectar CO_2 la muestra se solidifica por lo que es posible desmoldar luego de ser prensado, con esto se podrá agilizar el proceso de producción de los paneles.

5 Abad, Mateo, José Aguirre, y Freddy Pañega. Diseño de Paneles Prefabricados en Tierra. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2012.

Luego de realizar los primeros ensayos se determinaron las proporciones volumétricas de los distintos materiales, para lo cual se elaboraron 3 tipos de muestras con espesores variables. En las primeras muestras, se realizaron sin prensado solo con compactación manual. Después se realizaron incorporando fibras de cabuya de 6cm y 30cm y finalmente con mallas metálicas de 5cm x 5cm. de 3mm. de espesor, estas mezclas se observan en la Tabla 13. Se dió un acabado superficial en una cara con arena sílicea de 2mm de espesor para aprovechar la nobleza del material y a su vez darle más resistencia para el exterior. Con estos cambios se pretende dar al panel atributos de reversibilidad y la posibilidad de que se adapte a diferentes funciones. Para mejorar la cohesión en las placas se incorporó fibras de cabuya en la mezcla. La mezcla base está conformada por los siguientes componentes:

- Capa 1: Fibra Vegetal 65% + Arena sílicea 21% + Silicato de Sodio 10% + Agua 3% + Gas CO_2 1%
- Capa 2: Arena Sílicea 85% + Silicato de Sodio 14%+ Gas CO_2 1%

Las muestras producidas tuvieron un tiempo de secado de 8 días, tiempo en que las muestras están completamente secas, hay que recalcar que mediante el proceso de inyección de CO_2 se pudo desmoldar las muestras, poco tiempo después de su compactación. Las probetas serán sometidas a pruebas de flexión estática en el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura, con una prensa digital, en donde se obtuvieron los resultados de la Tabla 14.



I 12. Mezcladora mecánica, ELE International.

Fuente: Autor.



I 13. Prensa manual, Omega.

Fuente: Autor.



I 14. Incorporación de fibras de cabuya.

Fuente: Autor.


 I 15. Inyección de CO_2 en las muestras.

Fuente: Autor.



I 16. Terminado de arena sílicea en muestra.

Fuente: Autor.



117. Resultados de ensayos.

Fuente: Autor.



118. Ensayo de porcentaje humedad relativa.

Fuente: Autor.

Tabla 13: Dosificación de las muestras para prediseño.

MUESTRA		FIBRA VEGETAL			ESTABILIZADOR			CONGLOMERANTE			AGUA		VOLUMEN TOTAL	SECADO	
Molde B 15cm x 20 cm. e. variable		Tamo de arroz			Cabuya	Arena Silícea			Silicato de Sodio			Volumen de Agua		100%	[días]
		[g]	[ml]	[%]	(Peso y volumen despreciable).	[g]	[ml]	[%]	[g]	[ml]	[%]	[ml]	[%]	[ml]	
M1	Capa 1	90	600	65,2	fibras de 6cm.	320	200	21,7	141	90	9,8	30	3,2	920	1
	Capa 2	-	-	-	fibras de 3cm.	160	100	87	24	15	13	-	-	115	
M2	Capa 1	95	600	65,9	fibras de 6cm.	350	200	22	138	90	9,9	20	2,1	910	1
	Capa 2	-	-	-	fibras de 3cm.	160	100	87	25	15	13	-	-	115	
M3	Capa 1	90	600	66,7	fibras de 6cm.	320	200	22,2	140	90	10	10	1,1	900	1
	Capa 2	-	-	-	fibras de 3cm.	160	100	87	25	15	13	-	-	115	
M4	Capa 1	87	600	67	fibras de 6cm.	330	200	22,3	142	90	10	5	0,5	895	1
	Capa 2	-	-	-	fibras de 3cm.	160	100	87	25	15	13	-	-	115	
M5	Capa 1	91	600	66,7	(maya metálica)	328	200	22,2	139	90	10	10	1,1	900	1
	Capa 2	-	-	-	fibras de 3cm.	160	100	87	25	15	13	-	-	115	
M6	Capa 1	90	600	65,9	(maya metálica)	328	200	22	139	90	9,9	20	2,1	910	1
	Capa 2	-	-	-	fibras de 3cm.	160	100	87	25	15	13	-	-	115	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: Propiedades de las muestras de prediseño sometidos a pruebas y ensayos.

MUESTRA	RETRACCIÓN				PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO (EDAD 15 DÍAS)					
	Prensado (min)	Largo [cm]	Ancho [cm]	Esp. [cm]	Peso 1 [g]	Peso 2 [g]	Densidad [g/cm3]	Humedad [%]	Carga [kgf]	(MOR) [kg/cm2]
Molde B 15 x 20 cm e. variable										
M1	—	19,8	15	3	595,2	589,8	0,67	6	150	26,67
M2	—	19,9	15	3	590,6	584,6	0,66	7,16	155	27,56
M3	30	20	15	2,1	585,2	579,9	0,93	6,02	99	35,92
M4	30	19,75	15	2,1	582,1	576,3	0,94	5,35	104	37,73
M5	30	20	15	2,2	763	757,7	1,16	5,88	127	41,98
M6	30	20	15	2,2	746,5	740,9	1,13	6,55	122	40,33

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6 RESULTADOS Y DISCUSIONES DEL PREDISEÑO.

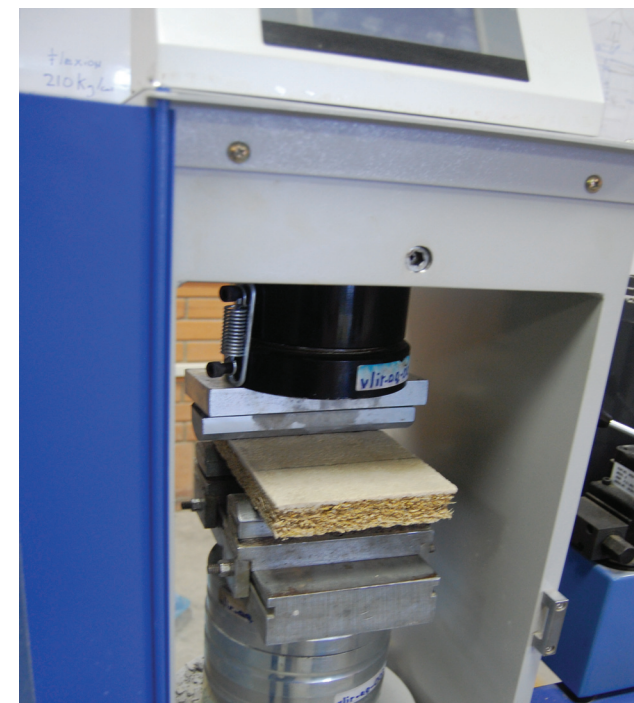
Se fabricaron tres tipos de placas, que alteraron sus propiedades de acuerdo al prensado, aplicación de fibras de cabuya o aplicación de mallas metálicas. En esta fase preliminar se realizaron ensayos físico-mecánicos. Los resultados obtenidos fueron analizados bajo los parámetros de la norma NTC 2261:2003 y ANSI 208.1:1999.

El componente agua ayuda a que el silicato de sodio se pueda diluir y distribuir de mejor manera en la mezcla, sin embargo, este componente se queda presente en las probetas retardando así el endurecimiento de las muestras por lo que se propuso reducir la cantidad de agua. Los dosajes que contienen más cantidad de agua tardan más en solidificarse y al aplicar gas carbónico las probetas se gelatinizan aunque no estén endurecidas del todo, este fenómeno permite el desencofrado de las placas, en el momento luego de la aplicación del CO_2 , que puede tardar entre 3 a 5 minutos dependiendo el tamaño de la placa, según las experimentaciones realizadas. La aplicación de CO_2 es un costo adicional al proceso pero su aplicación tiene la ventaja de contribuir en un sistema de producción en serie, ya que se reducen tiempos de producción y la necesidad de grandes espacios para el secado de los paneles. Es recomendable inyectar el CO_2 encerrando el espacio del molde para que el gas no se disperse en el ambiente.

La incorporación de fibras de cabuya es un buen aporte por su estructura de fibras largas de amarre formando una estructura tridimensional en las placas, otorgándoles a estas un mejor comportamiento mecánico a tracción.

Su incorporación es poco difícil ya que la superficie de la fibra de cabuya es muy rugosa y además contiene una sustancia pegajosa de su sábila, aunque esto también es una ventaja, puesto que su superficie se va trabando en los demás componentes de las muestras. Por lo cual, no se puede verter directamente en la mezcladora mecánica ya que las fibras quedarían atrapadas en las espas, se recomienda ir agregando por capas durante el proceso de moldeo. Según los resultados obtenidos, es mejor incorporar las fibras de cabuya que las mallas metálicas, ya que estas pueden tener problemas con la humedad. Con lo cual, se reduce costos de producción, ahorrando recursos y facilitando el corte y perforación de las placas.

La densidad en las muestras aumento debido al proceso de prensado en las placas de prueba, todas las muestras demostraron tener una buena compactación. Los porcentajes de humedad estuvieron alrededor de los mismos valores en todas las muestras y cumplen con lo establecido en la norma NTC 226. En las pruebas de módulo de ruptura los resultados más bajos fueron para las placas no prensadas aunque soportaron cargas más altas debido al espesor de las mismas, Los valores más altos fueron de las placas elaboradas con malla metálica, pero no difieren mucho de las placas que solo están compuestas por fibras de cabuyas. Los resultados de los ensayos de módulo de ruptura cumplen con la norma establecida ANSI 208.1:1999, para tableros de baja densidad, las placas demuestran tener un buen nivel de rigidez, por lo que, las formulaciones elaboradas son aptas para realizar paneles de revestimiento, uso decorativo y para cielo raso. La formulación que se tomó como mezcla base para la dosificación final son M3 y M4 estabilizadas con fibras de cabuya.



I 19. Ensayo de MOR.

Fuente: Autor.



I 20. Muestra luego de ensayo MOR.

Fuente: Autor.



Universidad de Cuenca

3.5 DISEÑO DEL PANEL PREFABRICADO.

Luego de realizar los procesos experimentales de prediseño se obtuvo la formulación de la mezcla base así como el proceso de producción a incorporarse en el diseño del panel prefabricado. Con los resultados obtenidos en las pruebas físico-mecánicas del prediseño se determinó que el panel puede tener aplicaciones para revestimiento de muros, de cielo raso y tabiques livianos o decorativo para espacios o ambientes arquitectónicos interiores. Los paneles se elaboraron en el laboratorio de mecánica de la Unidad Educativa Técnico Salesiano.

Las fibras de tamo de arroz fueron tratadas para su preservación y posteriormente fueron tamizadas para la eliminación de polvo e impurezas. Luego según la dosificación, los componentes de la mezcla: las fibras vegetales, estabilizador y conglomerante, fueron medidos volumétricamente y pesados en la balanza. El mezclado se realizó durante 5 minutos en una batidora eléctrica hasta obtener una mezcla homogénea; luego se colocó la mezcla en un molde de madera, sobre una base de tableros de plywood, unidos mediante ángulos metálicos y pernos. Finalmente, se ejecutó el prensado manual a temperatura ambiente, con una presión de aproximadamente 5kg/cm² durante 60 minutos. Finalmente, luego de todo este proceso se retira el molde de la prensa y se inyecta CO₂ para la solidificación del elemento; en el numeral 3.5.3 se detalla el proceso de producción del panel.

3.5.1 DETERMINACIÓN DE MEDIDAS DEL PANEL.

Se determinó las medidas del panel de 0.61m x 0.305m debido a las dimensiones de la prensa que se pudo conseguir para este trabajo, las medidas también responden a la subdivisión de la modulación de los tableros comerciales prefabricados de 2.44m x 1.22m. El espesor de los paneles se estableció según la experimentación de prensado en 2.2 cm. Estas medidas permitirán tener una coordinación modular para la aplicación de los paneles diseñados en espacios arquitectónicos.

3.5.2 DOSIFICACIÓN Y COMPONENTES DEL PANEL.

Se tomó como mezcla base las propiedades de la dosificación M3 obtenidas en las pruebas finales de prediseño del panel. Se procede con el diseño del panel con las formulaciones establecidas con un volumen aparente de 4500 cm³ a 1860cm³ de volumen compactado. Debido a las diferencias entre volumen aparente y real de los materiales la dosificación se realiza por peso y se trasladan para el volumen de panel no compactado, para mantener las mismas características de dosificación de la muestra M3. Por cada panel de 61cm x 30,5cm y 2,2 cm de espesor, se utilizan las siguientes cantidades de los diferentes componentes que se presentan en la siguiente página :



Fig. 21. Diseño de paneles.

Fuente: Autor.



- Capa 1:

- Tamo de arroz.- La fibra vegetal fue obtenida por sacos en la parroquia San Joaquín de la ciudad de Cuenca, a 1.5 dolares por m³. Se incorpora 3000 cm³ a la mezcla con un peso de 450 gr.
- Arena silícea.- El estabilizador fue suministrada por la empresa Profunca, a 0.14 dolares por Kg. Se incorporó 1000 cm³ a la mezcla con un peso de 1600 gr.
- Silicato de sodio.- El conglomerante fue proporcionado por la empresa Profunca, a 2.22 dolares por kg. Se incorporó 450 cm³ a la mezcla con un peso de 700 gr.
- Agua.- Este compuesto sirve para diluir más fácilmente el aglutinante en la mezcla se agregó 50cm³ a la mezcla.
- Fibras de cabuya.- Este estabilizador se puede encontrar en las fábricas de estuco de la ciudad de Cuenca, a 3 dolares por m³. Se incorporaron fibras de 30cm y 6cm, su peso y volumen es despreciable.

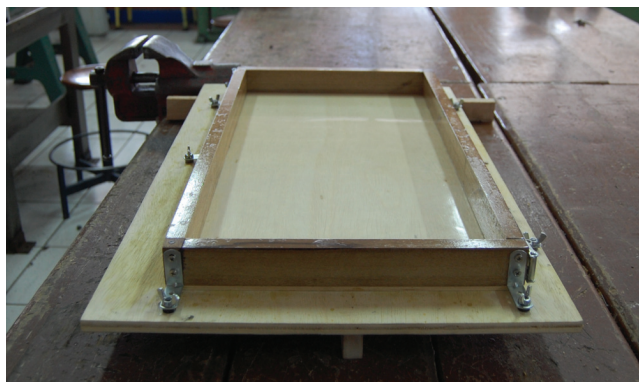
- Capa 2:

- Arena silícea.- Se incorporó 500 cm³ con un peso de 800 gr., a la mezcla para obtener una capa superficial de 2mm
- Silicato de sodio.- Se añadieron 80 cm³ con un peso de 120 gr. Para conglomerar las partículas de arena de la capa 2.
- Fibras de Cabuya.- Se incorporaron fibras de 6 cm para mejorar la cohesión de la capa superficial.

3.5.3 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DEL PANEL PREFABRICADO.

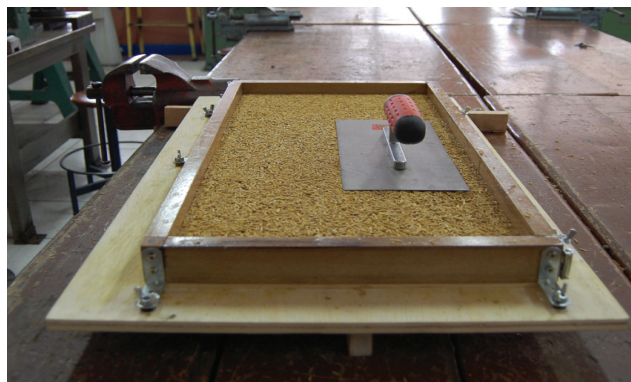
Con la dosificación y formulación de los componentes determinados para el panel, se procede a la fabricación del diseño experimental con el siguiente proceso:

1. Se arma el molde de madera para el panel que luego será ensamblada en la prensa, se debe colocar diésel en el molde como desmoldante.
2. Se realiza la mezcla homogénea de los componentes con la formulación especificada, dentro de una batidora eléctrica durante 15 min.
3. Se vierte la mezcla en el molde una primera capa de 1.5 cm aproximadamente y se iguala el nivel del mezclado.
4. Se expande encima de esta primera capa fibras de cabuya de 30cm, esta red mejorara la resistencia mecánica del panel.
5. Se termina de colocar la mezcla por capas, incorporando fibras de cabuya de 6cm, hasta un nivel de 3cm aproximadamente y se procede al prensado manual de la misma hasta obtener un espesor de 2cm se debe mantener bajo presión por 60 minutos.
6. Luego se aplica gas carbónico CO₂ a la mezcla hasta endurecerla alrededor de 5 minutos por panel.
7. Se procede a colocar la última capa de arena silícea y silicato de sodio a manera de revoco la cual también reforzada con fibras de cabuya de 3cm, se aplica el CO₂ para su endurecimiento.
8. El panel se lo puede desmoldar 1 hora luego de su conformación.



I 22. Molde de madera para prensado.

Fuente: Autor.



I 25. Compactación de la mezcla.

Fuente: Autor.



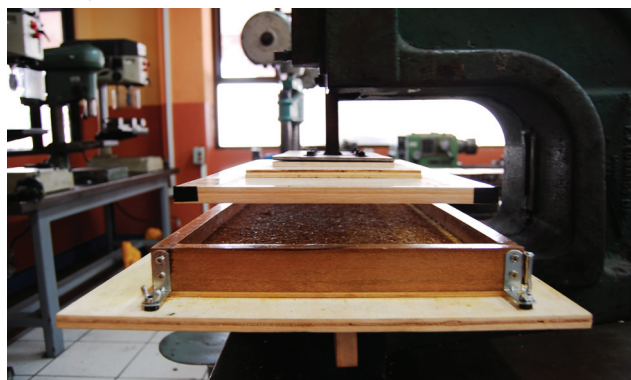
I 28. Capa de arena y desmoldado del panel.

Fuente: Autor.



I 23. Distribución de la mezcla en el molde.

Fuente: Autor.



I 26. Prensado de la mezcla.

Fuente: Autor.



I 30. Panel acabado natural.

Fuente: Autor.



I 24. Colocación de fibras de cabuya por capas.

Fuente: Autor.



I 27. Inyección de dióxido de carbono CO_2 .

Fuente: Autor.



I 31. Panel acabado con capa de arena.

Fuente: Autor.



I 32. Textura y naturaleza del panel.

Fuente: Autor.

Tabla 15: Dosificación de mezcla base para paneles prefabricados de fibra natural.

PANEL		FIBRA VEGETAL			ESTABILIZADOR			CONGLOMERANTE			AGUA		VOLUMEN TOTAL	SECADO	
Molde C 61 x 30,5 x 2,1 cm		Tamo de arroz			Cabuya	Arena Silíce			Silicato de Sodio			Volumen de Agua		100%	[días]
		[g]	[ml]	[%]	(peso y volumen despreciable).	[g]	[ml]	[%]	[g]	[ml]	[%]	[ml]	[%]	[ml]	
PNL 1	Capa 1	400	3000	66,67	fibras de 6cm.	1600	1000	22,22	700	450	10	50	1,1	4500	1
	Capa 2	—	—	—	fibras de 3cm.	800	500	86,21	120	80	13,793	—	—	580	
PNL2	Capa 1	400	3000	66,67	fibras de 6cm.	1600	1000	22,22	700	450	10	50	1,1	4500	1
	Capa 2	—	—	—	fibras de 3cm.	800	500	86,21	120	80	13,793	—	—	580	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Propiedades de las muestras de paneles sometidos a pruebas y ensayos.

MUESTRA	RETRACCIONES				PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO (EDAD 15 DÍAS)					
Corte 15 x 30 cm	Prensado [min]	Largo [cm]	Ancho [cm]	Esp. [cm]	Peso 1 [g]	Peso 2 [g]	Densidad [g/cm ³]	Humedad [%]	Carga [kgf]	(MOR) [kg/cm ²]
PNL 1,1	60	30	15	2,2	696,2	662,8	0,70	5,94	120	59,50
PNL 1,2	60	30	15	2,2	692,6	684,6	0,70	4,14	128	63,47
PNL 1,3	60	30	15	2,2	699,9	698,3	0,71	7,74	123	60,99
PNL 2,1	60	30	15	2,2	655,5	654,7	0,66	5,94	115	57,02
PNL 2,2	60	30	15	2,2	687,3	687,1	0,69	5,2	98	48,60
PNL 2,3	60	30	15	2,2	678,1	677,7	0,68	6,54	90	44,63
Promedio	60	30	15	2,2	684,9	677,5	0,7	5,91	112,3	55,70

Fuente: Elaboración propia.

3.6 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS DEL PANEL PREFABRICADO

Durante el proceso experimental, con dos personas se lograron, construir dos paneles en 8 horas, esto se puede mejorar generando procesos de producción en serie, el precio de cada panel fue estimado en 2,5 dólares, (ver anexo 2). Se debe recalcar el aspecto estético agradable de las dos superficies de los paneles con esto se consigue un atributo de reversibilidad en el panel prefabricado y clasificarlo como panel de capas múltiples, las texturas y colores de las superficies de las dos caras del panel se muestran en las imágenes 32 y 33. Debido a que los instrumentos de medición de los parámetros físico-mecánicos utilizados en este trabajo no cuentan con las medidas adecuadas para ensayar en el panel de 61cm x 30,5cm se extrajeron mediante cortes muestras de aproximadamente 15cm x 30cm de los paneles, de esa manera se pudo ensayar los distintos parámetros que se analizan a continuación.

3.6.1 MÓDULO DE RUPTURA

Los resultados obtenidos en las pruebas de módulo de ruptura (MOR) se muestran en la Tabla 14, fueron realizadas con una distancia entre apoyos de 22cm. Las muestras demostraron una mejora en la resistencia mecánica a flexión que se podría explicar debido al aumento de fibras de cabuya y tiempo de prensado en los paneles. El módulo de ruptura alcanzó un promedio de 55,7 kg/cm², este valor cumple con lo exigido en la norma ANSI 208.1:1999, (ver anexo 1) que requiere un mínimo de 30 kg/cm² a 50 kg/cm² para tableros de densidad baja LD. Los paneles obtenidos demuestran tener rigidez logran-

do soportar cargas de hasta 140 kgf. antes de su fallo de flexión en tres puntos, superior al antecedente estudiado de 17kg/cm² y comparable con la resistencia del Yeso Carton (MOR 80 Kg/cm²). También luego del fallo las muestras no se rompen completamente sino que tienen un comportamiento elástico. Por lo cual, se concluyó que los paneles diseñados en este trabajo de investigación pueden tener aplicaciones para revestimiento de muros, divisiones livianas o decorativas y para cielo rasos falsos.

3.6.2 DENSIDAD APARENTE

El promedio de densidad de los paneles obtenidos es de 700kg/m³, por lo cual según este valor se clasifica como "Tableros de media densidad" de acuerdo a la norma NTC2261:2003. Los valores que se pueden visualizar en la Tabla 16 están en unidades de g/cm³ pero se ha transformado a kg/m³ para poder comparar con la norma establecida. Se obtuvo un valor alto de densidad en el panel diseñado, debido a la incorporación de arena y al conglomerante que tiene un peso específico alto.

3.6.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

Según la norma NTC2261:2003, los tableros de partículas aglomeradas deben presentar un contenido de humedad entre 5% y 11%, requisito para toda la clasificación de tableros. Los paneles ensayados presentaron valores en promedio de 5.94%, lo cual está de acuerdo con esta norma establecida. Los paneles presentan valores de contenido de humedad bajos y deben estar en equilibrio con el medio ambiente donde se encuentren, sin exceder el contenido de humedad del mismo.



I 33. Textura de arena sílicea del panel.

Fuente: Autor.



Universidad de Cuenca

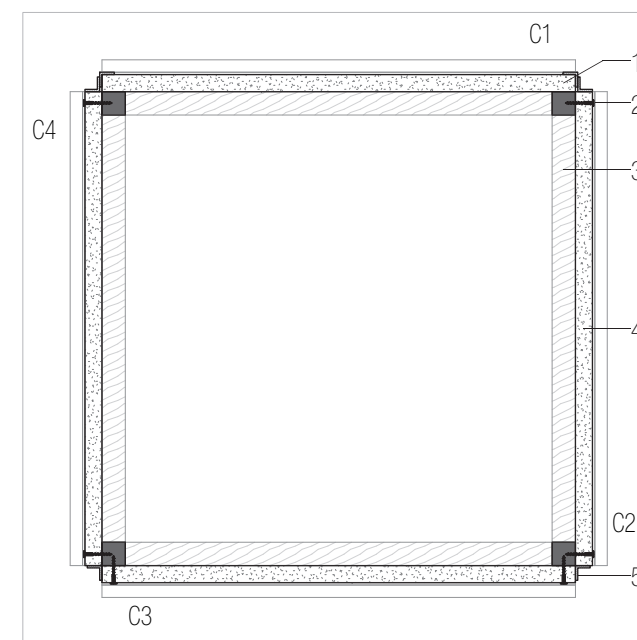
3.7 ANÁLISIS DE AISLAMIENTO TERMO-ACÚSTICO DEL PANEL PREFABRICADO

En esta etapa, se realizó pruebas para analizar el nivel de aislamiento térmico y aislamiento acústico del panel diseñado dentro de esta investigación, con el objetivo de determinar la conductividad térmica y el nivel de aislamiento acústico del material que conforma el panel prefabricado. En los últimos años la tendencia de aprovechar al máximo las propiedades de resistencia de los materiales modernos, como el hormigón armado, ha producido que se reduzcan los espesores de muros, tabiques y techos en las edificaciones, Dando como resultado, el aumento de la permeabilidad del calor es decir una alta conductividad térmica en los materiales comúnmente utilizados, así como la falta de aislamiento acústico debido a que los edificios, compuestos por estos materiales, son conjuntos monolíticos por donde se propagan fácilmente el sonido. Por lo cual, los problemas de aislamiento están presentes en nuestro medio causando la utilización de mecanismos que aumentan el gasto energético y la contaminación.⁶

De esta manera, es importante determinar los beneficios de aislamiento del panel prefabricado de fibras naturales, puesto que cada vez son mayores las exigencias en materiales para lograr mejores condiciones de confort térmico y acústico en los proyectos arquitectónicos, como se especifica en las norma NEC – 11⁷. En este proceso experimental de análisis es muy importante es-

tar al tanto de las bases teóricas y conceptos que implican estos fenómenos físicos, lo cual es estudiado en los siguientes puntos.

Para el montaje experimental del módulo de paneles prefabricados, una vez evaluado sus características físico-mecánicas, se procedió con las ensayos de aislamiento termo-acústico; basados en las pruebas higrotermica y acústica: “*Resultados prueba de evaluación de materiales prefabricados - nueva Unidad Educativa La Asunción*”⁸, realizados por el GEA Arquitectura Viva, en el que se realizó ensayos de evaluación de materiales y sistemas constructivos para la construcción del edificio para la Unidad Educativa La Asunción. Según el documento mencionado y otras normas técnicas estudiadas es preciso construir un modelo cúbico con lados de 1m de longitud, conformado por los paneles. Debido a que el panel propuesto tiene dimensiones de 61cm x 30,5cm, se diseñó un cubo de 61 cm de lado compuesto por 2 paneles en cada cara, el cual fue llamado “módulo experimental”. Para las pruebas se siguió en parte la metodología descrita en este documento, pero fue reforzado con otros documentos y normas para mediciones de aislamiento termo-acústico. Con lo cual, siguiendo las normas y conceptos correctos, se adaptó los ensayos, a los instrumentos y espacios que tiene la Facultad de Arquitectura y la Universidad de Cuenca.



I 34. PLANTA MÓDULO EXPERIMENTAL esc. 1:10

Fuente: Autor.

1. Panel Movil
2. Tornillos autorroscantes de 1 1/2" x 10.
3. Estructura de madera de 3cm x 3cm.
4. Panel prefabricado a base de fibras naturales.
5. Perfil de aluminio tipo L de 1.8 cm e. 1mm.

6. Payá, Miguel . Aislamiento térmico y acústico. Barcelona: Ediciones CEAC, 1976.
7. MIDUVI. Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-11. Capítulo 13. Eficiencia Energética en la Construcción del Ecuador. Quito: MIDUVI, 2011.
8. GEA, Arquitectura Viva. Resultados prueba de evaluación de materiales prefabricados - nueva unidad educativa La Asunción, Higrotermica Y Acústica. Informe Prueba de Materiales, Cuenca: Universidad de Azuay, 2013.



I 35. Estación meteorológica.

Fuente: www.deltaohm.com



I 37. Anemómetro digital portátil.

Fuente: www.nauticexpo.es



I 36. Pirómetro infrarojo.

Fuente: www.omega.com



I 38. Sonómetro Casella.

Fuente: www.directindustry.com

3.7.1 INSTRUMENTACIÓN PARA OBTENCIÓN DE DATOS

- Estación meteorológica: (Delta OHM HD 32.3) Es un instrumento de medición portátil que posee tres entradas para sondas de medición de parámetros climáticos como son, temperatura ambiente, humedad relativa HR, velocidad del aire, etc., Los datos se almacenan en la memoria interna del instrumento, un nivel de precisión de $\pm 2\%$.

- Anemómetro: (Kestrel 4000) Es un instrumento que permite la medición de las condiciones ambientales como temperatura, humedad, presión, velocidad del viento, etc., con un nivel de precisión de $\pm 3\%$

- Pirómetro: (Infrared_thermometer OS425-LS) Es un instrumento termómetro de infrarrojos que permite determinar la temperatura de una superficie plana de cualquier objeto, sin necesidad de contacto. El tiempo de respuesta es de 1 seg. con un nivel de precisión $\pm 1^\circ\text{C}$.

- Sonómetro: (Casella EI OS425-LS) Es un instrumento de medición que permite determinar el nivel o intensidad acústica en un recinto. El instrumento tiene un rango total de medición de 10 dB hasta 140dB y los datos se guardan en la memoria interna y son compatibles con otros softwares, nivel de exactitud de $\pm 1.5\text{ db}$.

- Equipo de Audio Electro box: Parlantes de 1000 W de potencia.

- Calefactor con termostato, 1500 W

3.7.1 DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE DEL MÓDULO

En efecto, se procedió a construir el módulo geométrico cúbico, de 61 x 61 x 61 centímetros, compuesto por 10 paneles unidos mediante tornillos autorroscantes, con una estructura de madera compuesta por tiras de 3cm x 3cm, sobre una base de tablero de OSB. Se colocó los paneles con la cara de arena sílice hacia el exterior por la razón de que su superficie resiste más la humedad y su tono claro refleja los rayos solares.

En la unión entre las juntas, se colocó una mezcla compuesta por los mismos componentes de la mezcla base del panel pero con el tamo de arroz triturado. En las juntas de las esquinas, en el exterior, se reforzó con perfiles en ángulo de aluminio. En las juntas internas además se continuó sellando las juntas con el producto “sikaboom” de espuma de poliuretano, pero este presentó fallas. Por lo que en la parte superior que fue la más crítica se selló con la mezcla base del panel.

Para poder colocar los instrumentos para las pruebas se dejó el último panel móvil, para que pueda ser colocado o retirado según sea necesario. Por lo cual, se estructuró un sistema de canales realizado con los mismos perfiles de aluminio utilizado en las juntas, el módulo experimental debe ser completamente hermético, por lo que se utilizó cinta doble de poliestireno de 2mm de espesor, en la posición del panel móvil sobre la estructura de madera y en las juntas de este. De esta forma, se trató en lo posible de sellar la caja para que sea hermética. La conformación de la caja para experimentación, es muy funcional pero no se pudo garantizar que esté completamente sellada.



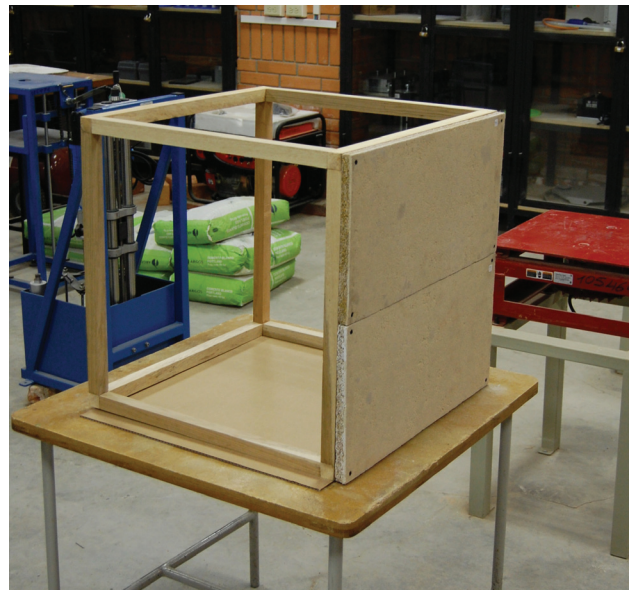
I 39. Estructura de madera del módulo.

Fuente: Autor.



I 41. Sistema de perfiles para el panel móvil.

Fuente: Autor.



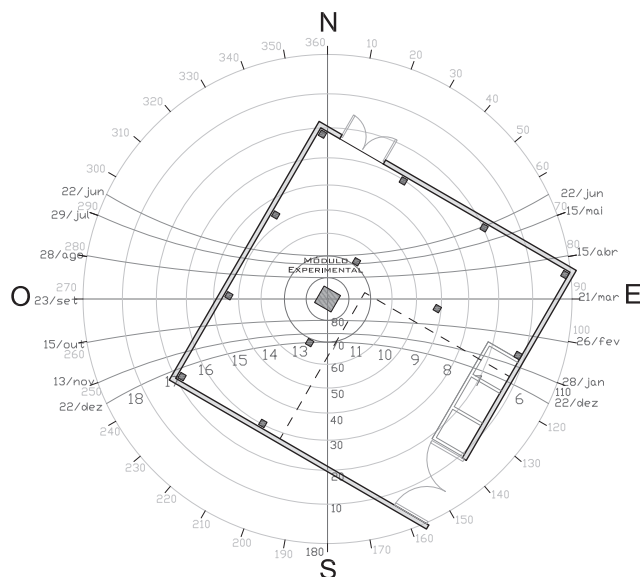
I 40. Montaje de paneles.

Fuente: Autor.



I 42. Módulo experimental para ensayos.

Fuente: Autor.



I 43. Emplazamiento del módulo experimental, diagrama solar.

- Latitud: 2° 54' 4.82" S.
- Longitud: 79° 0' 38.17" O.
- Altitud: 2530.8 msnm.

Fuente: Autor.

3.8 PRUEBA DE AISLAMIENTO TÉRMICO

La norma NTE INEN 2506 define al aislamiento térmico como “material utilizado para disminuir el flujo de calor, caracterizado por su bajo coeficiente de conductividad térmica”⁹. El objetivo principal de este ensayo fue determinar la conductividad térmica del material del panel propuesto. El nivel de conductividad térmica en un material es un factor importante para lograr un buen nivel de confort de temperatura. Para realizar el ensayo de aislamiento térmico, primero se debe estudiar una serie de parámetros y conceptos básicos, que nos ayudarán a entender el fenómeno físico que ocurre en el módulo experimental desarrollado. De esta forma, también establecer la manera de cómo utilizar los equipos de medición antes descritos para esta práctica.

3.8.1 CONCEPTOS Y BASES TEÓRICAS

Un material aislante es un compuesto que impide el paso o pérdida de la energía calorífica. Si un material, que compone una edificación, tiene una alta permeabilidad al calor, en un clima cálido, La edificación carecerá de confort térmico, porque aumentaría la temperatura al interior de este. Así como, en climas fríos pasaría lo mismo pero en sentido contrario, pues este tendría una alta pérdida de esta energía calorífica¹⁰. Según la norma NTE INEN 2506, “el aislamiento térmico en la envolvente del edificio limitará adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el confort térmico”¹¹. Esto quiere decir que el confort térmico está en función de factores externos y de las características de los materiales de construcción, por lo que según la norma depende de:

- Clima y uso del edificio.
- Características de aislamiento e inercia de materiales usados en la construcción de cubiertas, paredes y ventanas del edificio.

En esta investigación, para la prueba de aislamiento térmico, no solo se analizó la característica de aislación del material diseñado para el panel, también se estudió los factores climatológicos, para el lugar y tiempo donde se realizó la prueba. A continuación se menciona algunos de los conceptos teóricos necesarios para la obtención del coeficiente de conductividad térmica y los factores climáticos que se consideraran para realizar las pruebas.

3.8.1.1 ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

La climatología estudia al conjunto de elementos y factores, que determinan el clima. “Se puede llamar clima al conjunto de condiciones atmosféricas, limitadas a un área determinada y con una escala temporal suficientemente grande para que sea geográficamente representativa”¹². La combinación de estas condiciones con valores definidos en un lugar y tiempo caracterizan al estado atmosférico. Para esta investigación se estudió algunos de los elementos y factores climáticos del lugar y tiempo, con el fin de establecer un rango para el análisis donde se desarrollaran las pruebas. Las diferentes condiciones climáticas, del lugar, son los elementos del clima en conjunto con los factores que lo definen y al combinarse dan lugar a diferentes tipos de clima, estos elementos climáticos son los valores meteorológicos que miden y se clasifican en: temperatura, humedad del aire, presión, evaporación, vientos, precipitaciones entre otros.

9 INEN. Eficiencia energética en edificaciones. Quito : Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009:4.

10 Payá, Miguel. Aislamiento térmico y acústico. Barcelona: Ediciones CEAC, 1976.

11 INEN. Eficiencia energética en edificaciones:5.

12 Martínez de Osés, Xavier. «Meteorología Aplicada a la Navegación.» 77. Barcelona.: Ed. UPC., 2003.



A continuación, se estudia la definición de estos parámetros climáticos y se expone los datos generales de la ciudad de Cuenca, del mes de noviembre de los 3 últimos años, según el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca (CEA) que se muestran en la Tabla 17.

a. Temperatura.- Es la cantidad de calor o energía calorífica, procedente del sol, que esta conservada en el aire en un momento o lugar determinado. La temperatura también establece la transmisión de calor de un cuerpo a otro, sus unidades de medida comúnmente son grados centígrados (°C)

b. Vientos.-Es el desplazamiento de aire desde una zona de alta presión a baja presión, es decir el movimiento de un volumen de aire frío a caliente. Se origina por la rotación de la tierra, además de muchas influencias térmicas debidas a muchos factores. El viento tiene características de velocidad, dirección y frecuencia.

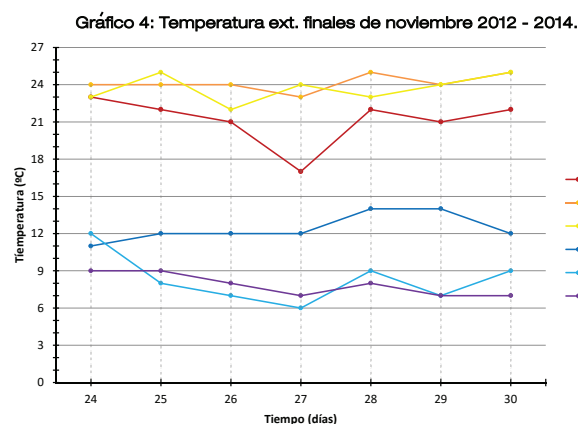
c. Humedad.- Es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, existen dos escalas de humedad que son: humedad absoluta y humedad relativa. La humedad absoluta es la cantidad de agua por unidad de volumen de aire, mientras que la humedad relativa es el porcentaje de humedad del aire para saturarse.

d. Precipitaciones.- Es el volumen de agua proveniente de la atmosfera que cae sobre la superficie de la tierra en estado sólido o líquido. Luego de la saturación del aire, este se condensa formando gotas o cristales de hielo, que se precipitan por gravedad. Se mide en milímetros de precipitación en un tiempo determinado.

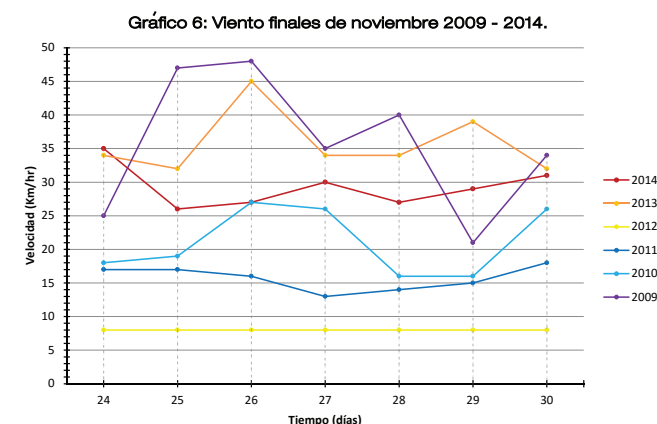
Tabla 17: Datos generales de elementos climáticos del mes de noviembre de 2009 – 2014.

AÑO	TEMPERATURA EXTERIOR ALTA (°C)	TEMPERATURA EXTERIOR BAJA (°C)	HUMEDAD EXTERIOR ALTA (%)	HUMEDAD EXTERIOR BAJA (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO (Km/h)	PRECIPITACION (mm diarios)
2012	23,5	9,4	88,3	23,2	12,5	2,0
2013	23,0	10,0	74,2	30,9	32,5	0,4
2014	22,1	11,3	81,2	37,6	28,0	3,2
PROMEDIOS	22,8	30,7	81,2	30,6	24,3	1,9

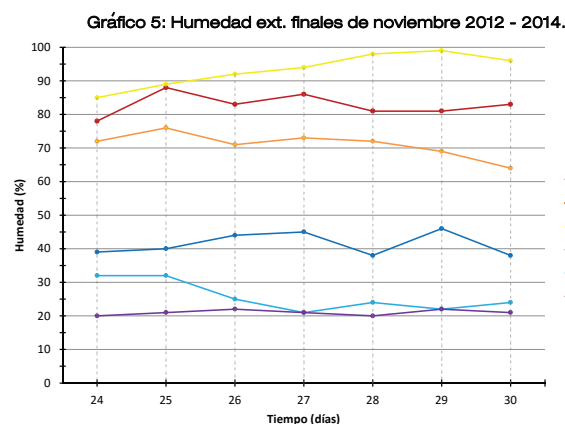
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEA.



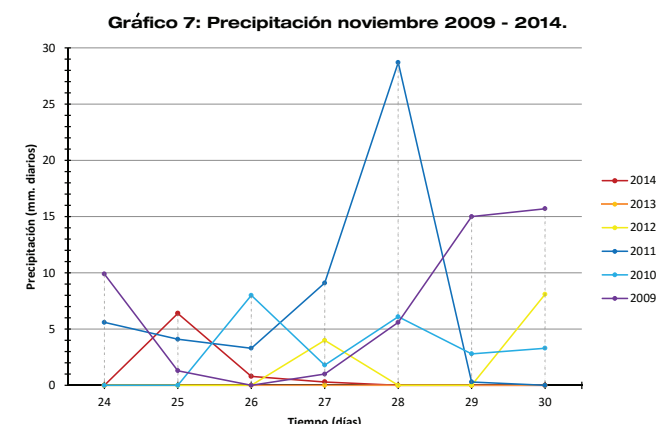
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEA.



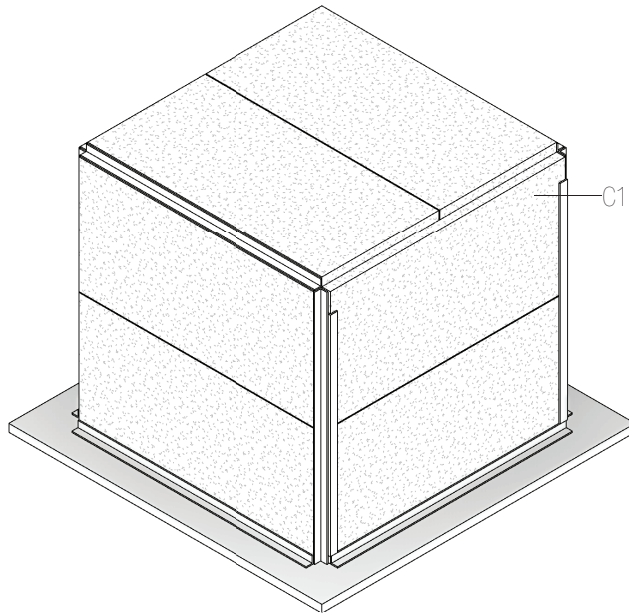
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEA.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEA.

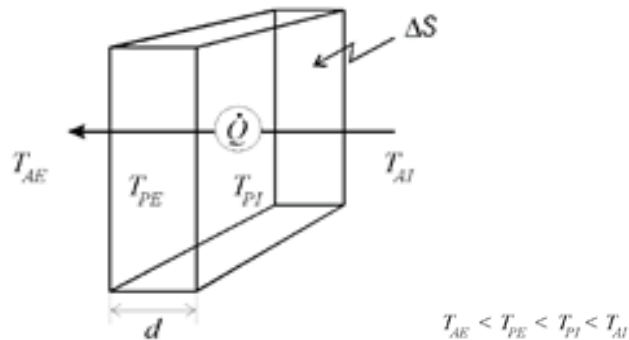


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEA.



I 44. Módulo experimental compuesto por paneles.

Fuente: Autor.



I 45. Trasmisión de calor a través de un panel.

Fuente: faeuat0.us.es.

3.8.1.2 ESTUDIO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Un material aislante térmico, debe poseer la cualidad de aislar constantemente en el transcurso del tiempo y tener un coeficiente de conductividad térmica tan bajo como sea posible debido a que la pérdida de energía calorífica es proporcional a este valor. Para realizar el estudio de este parámetro es necesario hacerlo en el llamado estado estacionario, que es *“aquel en el que la temperatura de cada punto del sistema en estudio no varía con el tiempo”*¹³, es decir, debe hacerse con valores de temperatura constantes.

A continuación se menciona algunos de los conceptos teóricos necesarios para la obtención del coeficiente de conductividad térmica en un material.

a. Calor.- El calor o energía calorífica es la trasmisión de energía entre dos objetos. Esta transferencia de energía puede ser por: conducción, convección, y radiación. El calor en un cuerpo se transfiere por conducción de la cara más caliente a la más fría.

b. Coeficiente de convección (a).- El coeficiente de trasmisión de calor o convección, es el efecto combinado de conducción de energía calorífica entre el aire a la pared, exterior e interior y viceversa, estos dos fenómenos se pueden considerar constantes y se incluyen en un mismo coeficiente de convección. Este coeficiente está en función a los factores del aire, del estado y la forma de la superficie, las placas y de su posición. El coeficiente de convección que pasa de la placa al aire exterior es a_e y el coeficiente de convección que pasa del aire exterior a

la placa es a_i . El valor de a_e es conocido y su valor es:

$$a = 8.1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

c. Potencia calorífica (Q).- Hace referencia al calor transmitido por unidad de tiempo, es decir la potencia calorífica que traspasa una superficie (S), este valor es proporcional a las temperaturas entre las caras de un material. La potencia calorífica se expresa con la fórmula siguiente:

$$Q = a \times S \times (T_1 - T_2)$$

d. Resistencia térmica (R).- Este es un factor de proporcionalidad de la resistencia a la trasmisión térmica en una pared.

$$R = (T_1 - T_2)/Q$$

e. Conductividad térmica (k).- El coeficiente de conductividad térmica es la cantidad de energía que pasa durante un tiempo determinado en un muro de cierto espesor cuando existe una diferencia de temperaturas entre ambas caras. De esta forma, es la capacidad de un material para transferir calor, a través de un cuerpo, el coeficiente de conductividad térmica se medirá en vatios por metro-kelvin (W/m²K).

$$k = d/(R \cdot S)$$

Donde d es el espesor del panel y k es el coeficiente de conductividad térmica.¹⁴

¹³ Laplace. «Universidad de Sevilla.» Departamento de física aplicada III. 07 de noviembre de 2007. <http://faeuat0.us.es/ti/Carpetas/Practicas/Practica05.pdf> (último acceso: 30 de enero de 2016).

¹⁴ Ídem.

3.8.2 ANTECEDENTES Y METODOLOGÍA

Para llevar a cabo las pruebas de evaluación de aislamiento térmico, del material del panel propuesto para esta investigación, luego de haber analizado los distintos conceptos básicos, se realizaron ensayos con el modulo experimental al exterior e interior del laboratorios de los Facultad de Arquitectura; para lo cual, se utilizaron los equipos de estación meteorológica, anemómetro, pirómetro antes descritos en esta investigación. El procedimiento para realizar la prueba de aislamiento térmico se dividió en 2 partes:

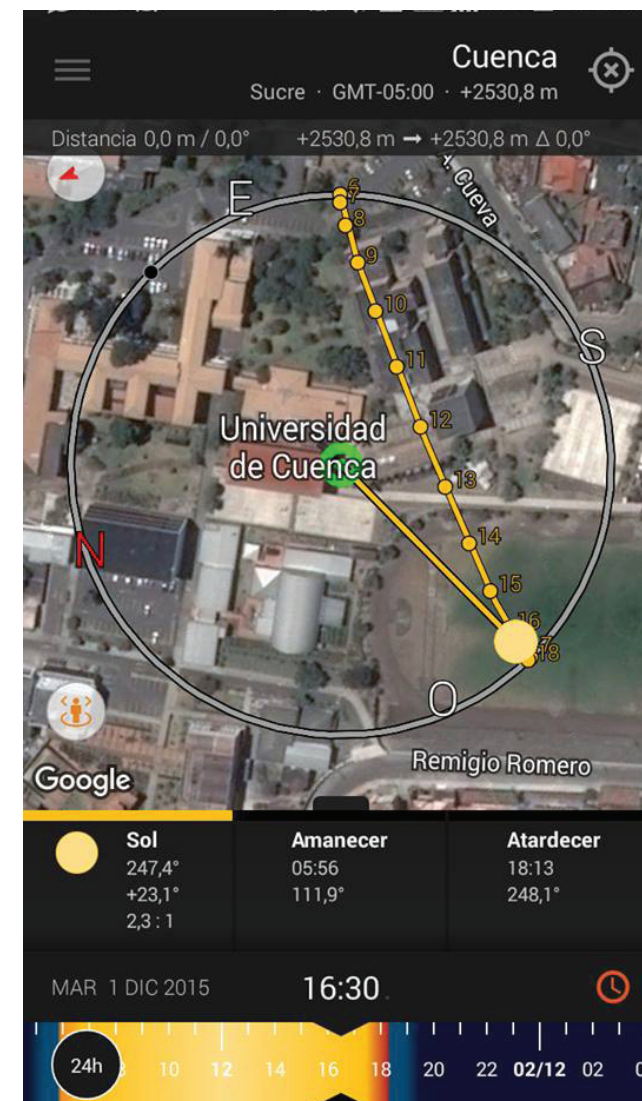
- Prueba 1. Evaluación del comportamiento térmico del módulo experimental.
- Prueba 2. Determinación de conductividad térmica del material del panel propuesto.

Las primeras pruebas se realizaron los últimos días del mes de noviembre del 2015, durante la semana del 24 al 30 de noviembre. Estas pruebas se realizaron en los exteriores del Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca. Para el desarrollo de la misma, debido a las características de los paneles, se ubicó al módulo experimental bajo una cubierta el día 25 de noviembre. Las obtenciones de datos se realizaron los días 27 y 30 de noviembre. Se tomaron datos desde las 8H00 hasta las 19H00 durante los 2 días, no se pudieron obtener más datos debido a los horarios del laboratorio. Antes de los ensayos se realizó un estudio climatológico de la ciudad de Cuenca, para establecer las tendencias climáticas para los días de pruebas. Las temperaturas estuvieron de acuerdo

a la tendencia establecida, se reportó días muy soleados, poco viento y no hubo presencia de lluvia. Para analizar el soleamiento del lugar de pruebas se utilizó el software de celular llamado Sun Surveyor, que visualiza la posición y trayectoria solar, como se puede apreciar en la Imagen 46.

Para la segunda parte de la prueba, se procedió a calcular el coeficiente de conductividad térmica del material del panel propuesto. Para lo cual se estableció el procedimiento descrito en el documento de "Aislamiento Térmico, cuyo objetivo es estudiar las propiedades aislantes de paredes de distintos materiales"¹⁵. Esta metodología, consiste en emitir calor por medio de convección desde el interior del módulo experimental, para lo cual se utilizó un calefactor eléctrico de 1500W. La prueba se realizó al interior del Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca. el 1 de diciembre de 2015 durante el periodo de 40 minutos.

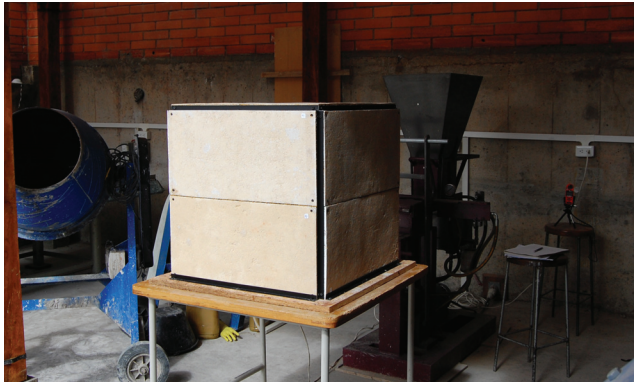
Finalmente luego de haber realizado las pruebas, se procedió a tabular los datos obtenidos en las pruebas, en la primera prueba, los datos de la estación meteorológica se guardaron en la memoria interna del equipo, pero también fueron registrados manualmente cada 15 minutos. Los datos registrados fueron comparados con los del equipo para comprobar su validez. Estos datos sirvieron para el análisis del comportamiento del panel durante horas de calor y frio; con estos datos no se puede calcular la conductividad térmica porque la temperatura no es constante. En la segunda parte de la prueba se procedió a calcular la conductividad térmica del material propuesto con los promedios de los datos obtenidos, aplicando las formulas en el orden mostrado en el numeral 3.8.1.2



I 46. Vista de mapa software SunSurveyor.

Fuente: Autor.

15 Laplace. «Universidad de Sevilla.» Departamento de física aplicada III. 07 de noviembre de 2007. <http://faeuat0.us.es/ff/Carpetas/Practicas/Practica05.pdf> (último acceso: 30 de enero de 2016).



I 47. Lugar de pruebas.

Fuente: Autor.



I 50. Ubicación del módulo experimental.

Fuente: Autor.



I 48. Instalación de estación meteorológica.

Fuente: Autor.



I 51. Toma de datos de temperatura externa.

Fuente: Autor.



I 49. Toma de temperatura de las caras exteriores.

Fuente: Autor.



I 52. Datos de las temperaturas a los paneles.

Fuente: Autor.

a) PRUEBA 1

Se utilizó la estación meteorológica para obtener la temperatura del aire interior (TAI), el anemómetro para la temperatura del aire exterior (TAE) y el pirómetro para obtener las temperaturas de las caras internas (TPI) y externas (TPE), del módulo experimental. Se tomaron datos de la cara C3, como se indica en la imagen 34, y se obtuvieron cada 15 minutos; el proceso fue el siguiente:

1. Nomenclatura de las caras del módulo experimental.
2. Traslado y emplazamiento del módulo experimental al lugar de pruebas.
3. Instalación de la estación meteorológica al interior del módulo experimental para obtención de datos durante los periodos de prueba.
4. Instalación del anemómetro para obtención de datos de temperatura, humedad y vientos, al exterior del módulo experimental.
5. Obtención de temperaturas de las superficies externas e internas de las caras del módulo experimental.
6. Tabulación de datos.
7. Graficación de datos obtenidos en las pruebas.
8. Análisis de resultados.

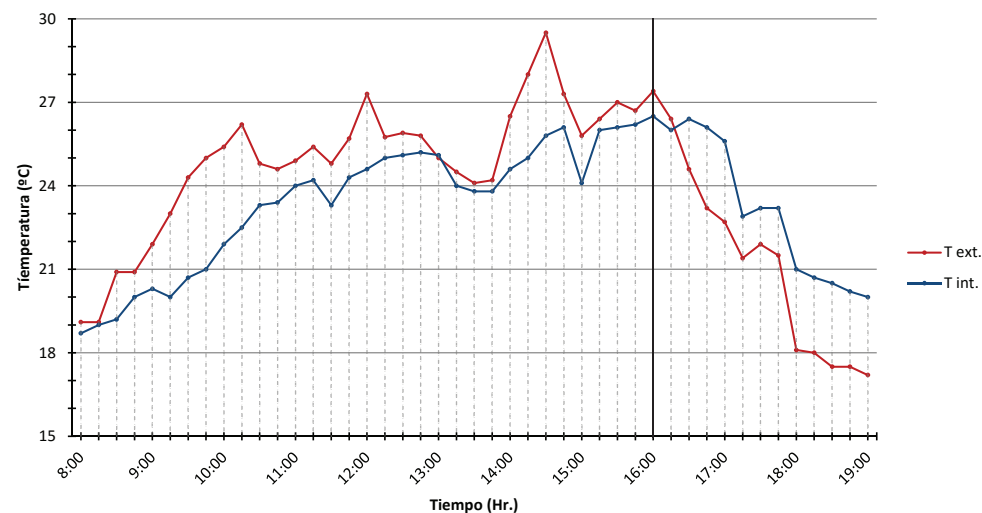
Como se observa en los Gráficos 8 y 9, desde las 8H00 am hasta las 10H00 am hay un aumento de temperatura exterior de 19 °C a 25 °C. Desde las 11H00 hasta las 16H00 la temperatura va atenuando, teniendo la temperatura más alta a las 14h30 de 29.5 °C. A partir de las 16H15 la temperatura empieza a descender hasta los 17.2 °C a las 19H00, a partir de ese momento se conserva el calor al interior del módulo experimental.



Tabla 18: Parametros obtenidos en pruebas de aislamiento termico.

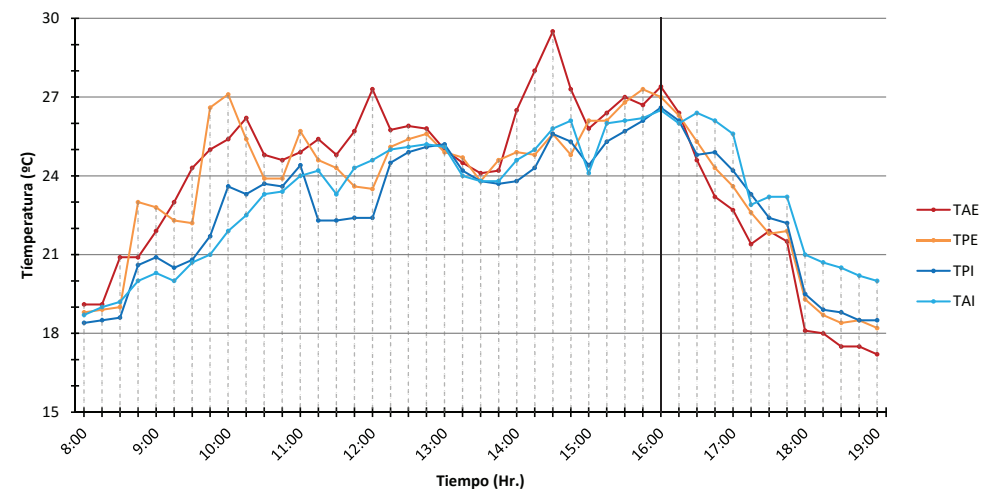
D A	HORA	TAE (°C)	TAI (°C)	TPE (°C)	TPI (°C)	HAE (%)	HAI (%)	VVE (m/s)
27 nov. 2015	8 h 00	19,1	18,7	18,8	18,4	58,2	57,6	0
	8 h 15	19,1	19	18,9	18,5	58,3	56	0,2
	8 h 30	20,9	19,2	19	18,6	59	51,8	0,1
	8 h 45	20,9	20	23	20,6	59,1	47,4	0
	9 h 00	21,9	20,3	22,8	20,9	58,6	47,3	0,3
	9 h 15	23	20	22,3	20,5	57,2	45,5	0
	9 h 30	24,3	20,7	22,2	20,8	57	45,5	0
	9 h 45	25	21	26,6	21,7	55,6	44,9	0,4
	10 h 00	25,4	21,9	27,1	23,6	57,1	39,8	0
	10 h 15	26,2	22,5	25,4	23,3	55	37,4	0
	10 h 30	24,8	23,3	23,9	23,7	60	39,5	0
	10 h 45	24,6	23,4	23,9	23,6	59	39,1	0
	11 h 00	24,9	24	25,7	24,4	58,2	40,7	0,3
	11 h 15	25,4	24,2	24,6	22,3	56	40,5	0,5
	11 h 30	24,8	23,3	24,3	22,3	54,2	40,3	0
	11 h 45	25,7	24,3	23,6	22,4	55,7	38	0,2
	12 h 00	27,3	24,6	23,5	22,4	56,6	35,5	0
	12 h 15	25,75	25	25,1	24,5	57	36,7	0,5
	12 h 30	25,9	25,1	25,4	24,9	56	38,7	0,8
	12 h 45	25,8	25,2	25,6	25,1	58	38,7	0
	13 h 00	25	25,1	24,9	25,2	51,9	39,5	0
	13 h 15	24,5	24	24,7	24,2	52	40,2	0,4
	13 h 30	24,1	23,8	23,8	23,8	52,5	42,3	0
	13 h 45	24,2	23,8	24,6	23,7	55	41	1
	14 h 00	26,5	24,6	24,9	23,8	53	36,7	0,7
	14 h 15	28	25	24,8	24,3	55	35,2	0
	14 h 30	29,5	25,8	25,6	25,6	56,4	32,6	0,3
	14 h 45	27,3	26,1	24,8	25,3	55,4	33,2	0
	15 h 00	25,8	24,1	26,1	24,4	54	35,7	0,8
	15 h 15	26,4	26	26,1	25,3	54,3	35,1	0
	15 h 30	27	26,1	26,8	25,7	53,7	34,1	0
	15 h 45	26,7	26,2	27,3	26,1	53,7	35,7	0
	16 h 00	27,4	26,5	27	26,6	54,2	34	0,8
30-nov.-2015	16 h 15	26,4	26	26,3	26,1	52,9	41,7	0,3
	16 h 30	24,6	26,4	25,3	24,8	53,6	45	0,5
	16 h 45	23,2	26,1	24,3	24,9	53,2	49,2	0,7
	17 h 00	22,7	25,6	23,6	24,2	54,2	50,8	0,9
	17 h 15	21,4	22,9	22,6	23,3	57,2	56,8	0,4
	17 h 30	21,9	23,2	21,8	22,4	55,9	56,8	1
	17 h 45	21,5	23,2	21,9	22,2	55,2	56	0
	18 h 00	18,1	21	19,3	19,5	54,9	56,7	0,7
	18 h 15	18	20,7	18,7	18,9	54,6	57,5	0,2
	18 h 30	17,5	20,5	18,4	18,8	55	56,8	0,5
	18 h 45	17,5	20,2	18,5	18,5	57	57,5	0,3
	19 h 00	17,2	20	18,2	18,5	59	55	0
PROMEDIOS		23,8	23,3	23,6	22,9	23,0	22,1	0,3

Gráfico 8: Temperatura del aire exterior-interior



Fuente: Elaboración propia .

Gráfico 9: Análisis de temperaturas del módulo experimental.

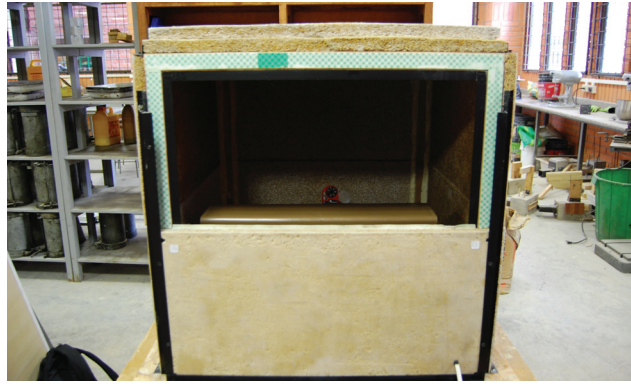


Fuente: Elaboración propia.



I 53. Calefactor eléctrico 1500W.

Fuente: Autor.



I 56. Instalación de equipos, al interior del módulo experimental.

Fuente: Autor.



I 54. Temperatura del aire exterior.

Fuente: Autor.



I 57. Temperatura de aire interior.

Fuente: Autor.



I 55. Temperatura de cara interior.

Fuente: Autor.



I 58. Temperatura de cara exterior.

Fuente: Autor.

b) PRUEBA 2

Para este ensayo se utilizaron 2 anemómetros, para obtener la temperatura del aire interior (TAI) y exterior (TAE), con el pirómetro se fue obteniendo los datos de las temperaturas de las superficies de las caras internas (TPI) y externas (TPE) del módulo experimental. Se tomaron datos de la cara C3, como se indica en la imagen 34, cada 5 minutos, alternando al interior y exterior; el proceso fue:

1. Nomenclatura de las caras del módulo experimental.
2. Traslado y emplazamiento del módulo experimental al lugar de pruebas.
3. Instalación del equipo calefactor en el interior del módulo experimental, para transmitir calor por convección durante la prueba.
4. Instalación de los anemómetros para obtener las temperaturas de aire interna y externa.
5. Obtención de temperaturas de las superficies externas e internas de los paneles.
6. Tabulación de datos.
7. Cálculo de conductividad térmica con los datos obtenidos en las pruebas.
8. Análisis de resultados.

La temperatura ambiente del laboratorio inicial fue 21 °C. Para el desarrollo de la prueba, primero se encendió el calefactor que tomó 3 minutos para alcanzar 60 °C, luego de ello la temperatura permaneció constante al interior del módulo experimental; mientras que la temperatura al exterior permaneció alrededor de 23 °C. Cada 5 minutos se procedió a medir la temperatura interna y externa de la cara frontal C3 del módulo experimental.



Tabla 19: Análisis y cálculo de coeficiente de aislamiento térmico.

HORA	TAE	TAI	TPE	TPI	Q	R	k
16:25	21,2	60	24,2	35	9,04	1,19	0,050
16:30	21,5	57	24	35,1	7,54	1,47	0,040
16:35	21,3	62	26,8	42,5	16,58	0,95	0,062
16:40	22,8	66	29,3	45,3	19,59	0,82	0,072
16:45	22,3	59	25,8	38,7	10,55	1,22	0,048
PROMEDIOS	21,8	60,8	26,0	39,3	12,7	1,1	0,055

3.8.3 RESULTADOS DE AISLAMIENTO TÉRMICO.

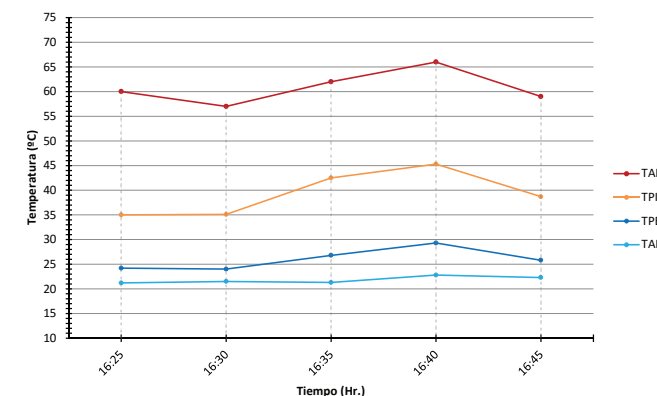
Se demuestra que el panel diseñado, tiene un muy buen comportamiento como aislante térmico. En la prueba 1, se puede observar en el Gráfico 9 el comportamiento del módulo compuesto por los paneles, en donde se evidencia que existe un nivel de aislamiento a lo largo de las horas evaluadas. A medida que va aumenta la temperatura exterior, hay una diferencia de temperatura interior entre 2 °C a 4 °C, más bajo que el exterior. La temperatura interior va aumentando, conforme aumenta la temperatura exterior. Cuando aumenta rápidamente, existen picos pero la temperatura interior se mantiene, Luego cuando la temperatura exterior empieza a descender, se presenta una conservación de energía hasta un punto de equilibrio, luego la temperatura interior empieza a ser más alta que el exterior.

En la prueba 2 luego de haber obtenido los datos de temperatura del aire exterior e interior y las temperaturas de las placas exteriores e interior, que se especifican en la Tabla 19, se procedió a calcular el coeficiente de aislamiento térmico del panel propuesto. Para lo cual, con

datos obtenidos se determinó la potencia calorífica (Q) y la resistencia térmica (R), del material del panel, aplicando las fórmulas descritas en el numeral 3.8.1.2, una vez conseguido estos parámetros se procedió a calcular el coeficiente de conductividad térmica mediante la ecuación presentada en el numeral 3.8.1.2. La prueba se realizó durante 30 minutos y se tomaron medidas cada 5 minutos, con cada medida se calculó el coeficiente de aislamiento térmico por lo tanto se tomó el valor promedio de 5 valores obtenidos. Se obtuvo el valor promedio de coeficiente de aislamiento térmico de 0,055 W/mK.

El coeficiente de aislamiento térmico del panel propuesto de 0,055 W/mK, es comparable a los coeficientes de los materiales aislantes estudiados en el Capítulo 1. Por ejemplo el coeficiente de los paneles de corcho es de 0,028 W/mK y los de fibra de madera blanda es 0,05 W/mK. El coeficiente de aislamiento térmico solamente del tamo de arroz es de 0,036 W/mK pero al ser el panel conformado por materiales compuestos este valor a aumentado, pese a que la mezcla base está compuesto en un mayor porcentaje por tamo de arroz. El panel diseñado tiene buenas características como aislante térmico.

Gráfico 10: Análisis de aislamiento térmico.



Fuente: Elaboración propia

3.9 PRUEBA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

El autor Miguel Payá manifiesta que *“El aislamiento acústico consiste en impedir que los sonidos se propaguen de un lado a otro, por lo menos, que al transmitirse pierdan la mayor parte de su intensidad”*¹⁶. Esto reside en no permitir que el sonido se transmita, desde el exterior al interior de un recinto, por medio de materiales u obstáculos. Por lo cual en un espacio limitado por materiales aislantes o absorbentes, existe una pérdida de transmisión de sonido. En esta práctica se evaluó la energía acústica transmitida dentro del módulo experimental construido para este análisis.

Para obtener aislación acústica, se debe lograr una protección al sonido o ruido del exterior, con lo cual se obtiene una interrelación entre la energía acústica incidente y la transmitida. El estudio de estos fenómenos es muy extenso y existe muchas variables, por lo que se basó en el documento CTE-DB-HR que estudia la protección frente al ruido¹⁷.

La metodología empleada en esta práctica fue efectuada basándose en el documento de acústica técnica *“Medición de aislamiento acústico entre dos recintos”*, misma que está realizada bajo la norma UNE 74040/IV (Medida de Aislamiento Acústico de los Edificios y Elementos Constructivos, equivalente a la Norma ISO-140. El objetivo de este documento es “Obtener experimentalmente el aislamiento entre dos locales. Se realizará midiendo el nivel acústico, simultáneamente en ambos ambientes, mientras que se excita el campo acústico con una fuente

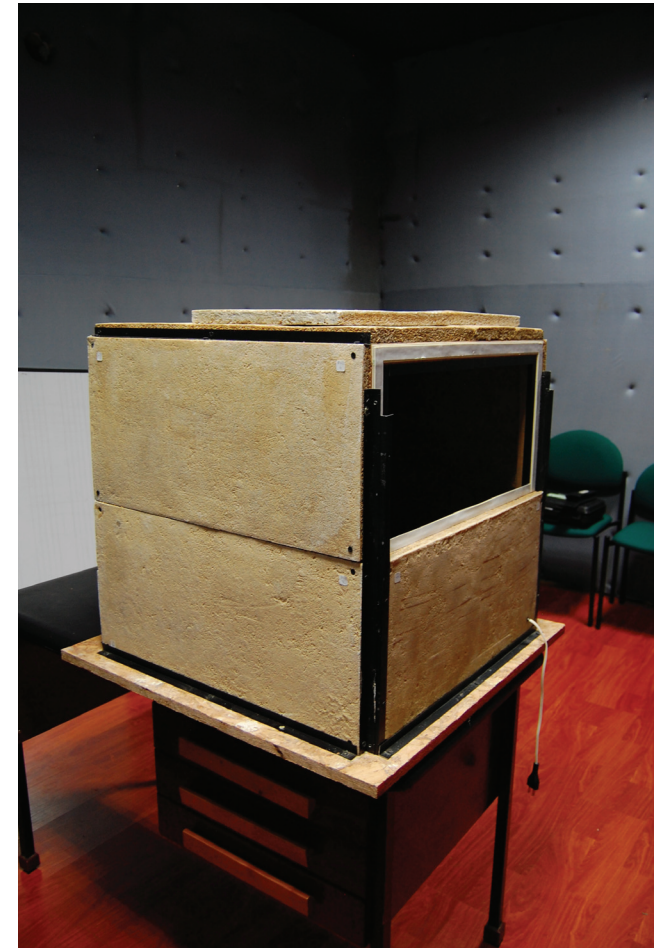
estacionaria con ruido rosa en uno de ellos”¹⁸.

Para la ejecución de la prueba del nivel de aislamiento acústico del material del panel diseñado en esta investigación, es necesario realizar el ensayo en un espacio con un alto grado de aislamiento acústico, debido a que las ondas sonoras no se deben dispersar, por lo cual, el módulo experimental debe recibir la mayor parte de intensidad acústica emitida, como se especifican en las normas técnicas para pruebas de parámetros acústicos para elementos constructivos. De esta forma se pueden obtener datos más efectivos dentro del módulo experimental construido para las pruebas termo-acústicas.

3.9.1 CONCEPTOS Y BASES TEÓRICAS.

Antes de determinar el nivel de aislamiento acústico del panel diseñado en esta investigación, se debe estudiar algunos de los conceptos teóricos referentes a la acústica, con el fin de entender este fenómeno eficazmente. La comprensión de estos parámetros es importante, para solucionar los problemas de acústica, que pueden afectar al confort de las personas, los cuales se pueden resolver con materiales aislantes.

a. Sonido.- Es la sensación auditiva que produce un fenómeno vibratorio transmitiéndose por medio de un material elástico como pueden ser el agua y el aire en general.



I 59. Prueba de aislamiento acústico.

Fuente: Autor.

16 Payá, Miguel . Aislamiento térmico y acústico. Barcelona: Ediciones CEAC, 1976.

17 AEBOE. Documento básico HR, protección frente al ruido. Madrid: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado., 2009.

18 COJEN. Medición del aislamiento acústico entre dos recintos. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid., 2010.

b. Frecuencia (Hz).- Este fenómeno físico expresa la cantidad de vibraciones por segundo. Las frecuencias audibles para el ser humano oscilan entre 20 Hz y 20.000 Hz. Este es el rango se le conoce como el espectro audible, los sonidos graves van desde 20 a 300 Hz, los medios de 300 a 2000 Hz y los agudos de 2000 hasta 20000 Hz. A su vez este espectro se subdivide en octavas, el valor máximo de cada una de ellas es el doble del de la anterior.

c. Nivel acústico (dB).- Es la intensidad de presión sonora cuya unidad de medida es el decibelio que está en escalas logarítmicas; si existe un alto nivel acústico, este causa molestias en niveles superiores a 80 y 90 dB, en estos valores se entra en el umbral del dolor. En sonidos agudos de frecuencias altas como por ejemplo 4000 Hz, se está ya en una zona peligrosa en niveles acústicos de 70dB. Existe una relación entre frecuencias y niveles acústicos en los que el oído humano está en umbral de audición o umbral de dolor, como se especifica en el Gráfico 11. Según Miguel Paya, la intensidad de ruidos exteriores de diversos orígenes es:

Intensidad en db	Descripción
130	Umbral de dolor
110	Despegue de un avión
90	Estallido de un neumático
60	Interior de una oficina
50	Conversación normal
40	Habitación silenciosa
20	Jardín tranquilo
10	Conversación en voz baja

d. Ruido rosa.- Es un ruido que a pesar de ser aleatorio, tiene un nivel acústico constante en todas las frecuencias que se refieren a octavas de banda. “Proporciona igual densidad de energía en todo el espectro dB/Hz, así como igual nivel acústico en todo el espectro audible, si este está en escala logarítmica y consecuentemente en octavas o tercios de octavas”¹⁹. Esto sucede al aplicar filtros proporcionales de octavas de banda por medio de un software o analizador de sonidos.

e. Aislamiento acústico admisible.- Este término hace referencia al nivel acústico medio admisible en un recinto. “Con el aislamiento acústico se pretende llegar a un nivel sonoro medio admisible en las distintas partes del edificio proyectado, según el uso al que se destine”²⁰.

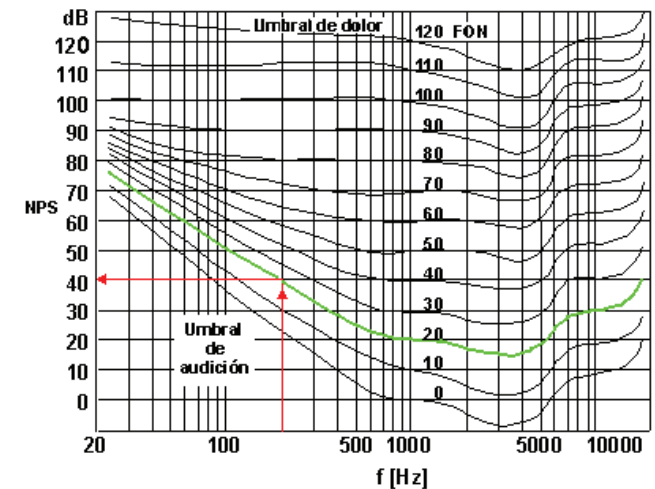
Por ejemplo: Si el aislamiento de una pared es de 12 dB, cuando reciba en su cara exterior 60 dB, en su cara interior transmitirá 48 dB.

$$60 - 12 = 48 \text{ decibeles}$$

f. Aislamiento acústico bruto.- Según el documento básico HR, protección frente al ruido²¹, lo define como “Índice de reducción acústica aparente” que es la diferencia en dB del nivel acústico en ambos recintos y es fácilmente medible si se invoca la existencia de un campo difuso. Este es un valor que depende del rango de la frecuencia.

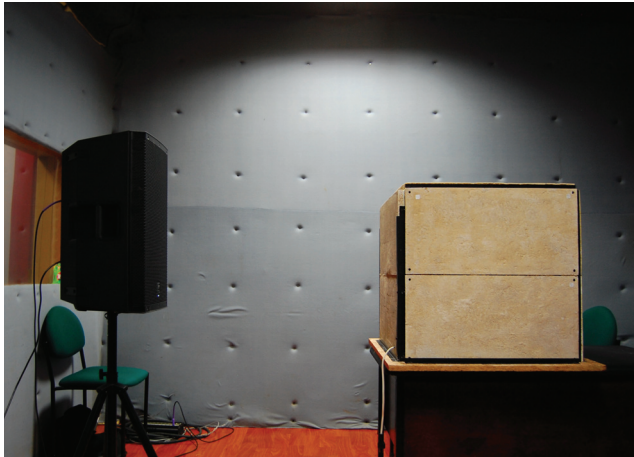
$$R_i = 10 \log \left(\frac{I_{emisor,i}}{I_{receptor,i}} \right) = 10 \log \left(\frac{I_{emisor,i} / I_{ref}}{I_{receptor,i} / I_{ref}} \right) = L_{p,emisor,i} - L_{p,receptor,i}$$

Gráfico 11: Sensación de sonoridad, curvas de Fletcher y Munson.



Fuente: www.fceia.unr.edu.ar

19 COJEN. Medición del aislamiento acústico entre dos recintos. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid., 2010.
 20 Payá, Miguel . Aislamiento térmico y acústico. Barcelona: Ediciones CEAC, 1976.
 21 AEBOE. Documento básico HR, protección frente al ruido. Madrid: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado., 2009.



I 60. Ruido en el estudio de grabación.

Fuente: Autor.



I 61. Software y equipos para emisión de ruido rosa.

Fuente: Autor.

3.9.2 ANTECEDENTES Y METODOLOGÍA

La prueba se llevó a cabo dentro del estudio de grabación de la Facultad de Artes de la Universidad de Cuenca, el día 13 de enero del 2016, bajo la supervisión de los docentes Arq. Edison Castillo y Lic. Víctor González. Los equipos fueron facilitados en el estudio de grabación. La fuente de sonido fue la de ruido rosa generada por medio del software Pro – Tools 9, que permitió transmitir este sonido en diferentes frecuencias por medio de filtros, que fue emitido por el equipo de audio Electro Voice con una potencia de 1000w.

Para la obtención y medición de los parámetros acústicos se utilizó 2 sonómetros proporcionados por el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca. Se registraron los distintos parámetros: Frecuencia de la Fuente (fi), que son las frecuencias emitidas durante la prueba; Nivel Acústico Exterior (NAE), que es el ruido emitido en el estudio de grabación durante la prueba; Ruido de Fondo Emisor (RFE), que es el ruido que se filtra dentro del estudio aparte de los ruidos de prueba; Nivel Acústico en Recepción (NAR), es el ruido registrado por el sonómetro dentro del módulo experimental; y Aislamiento Acústico Bruto(AAB), que es nivel de aislamiento acústico aparente obtenido de los paneles prefabricados de fibra natural. Los resultados y datos se presentan en la Tabla 20.

Se realizaron pruebas de 12 minutos dentro del estudio de grabación, el procedimiento efectuado para identificar el índice de aislamiento acústico aparente o aislamiento acústico bruto es el siguiente.

Metodología:

1. Traslado del equipo y módulo experimental al lugar de pruebas dentro del estudio de grabación.
2. Colación del equipo de audio Electro Voice de 1000W sobre un trípode, a 50 cm de la ventana del estudio de grabación.
3. Emplazamiento del módulo experimental y el equipo de audio dentro del estudio de grabación sobre una mesa a 90cm del suelo y a una distancia de 1,1 metros del amplificador de audio.
4. Medición y comprobación del ruido ambiente y fuente de sonido emitido dentro del estudio de grabación, se realizó las medidas dentro y fuera del módulo experimental con la tapa abierta
5. Generación de fuente de ruido rosa con una intensidad acústica alrededor de 94 dB, emitido en un rango de frecuencia o espectro entre 100 y 5000 Hz durante 12 minutos.
6. Instalación del sonómetro dentro del módulo experimental y sellado del mismo con tornillos autorroscantes y cinta doble fas.
7. Medición de los niveles de intensidad acústica dentro del módulo experimental sellada durante 12 minutos.
8. Tabulación de datos obtenidos y resultados de índice de aislamiento acústico aparente.

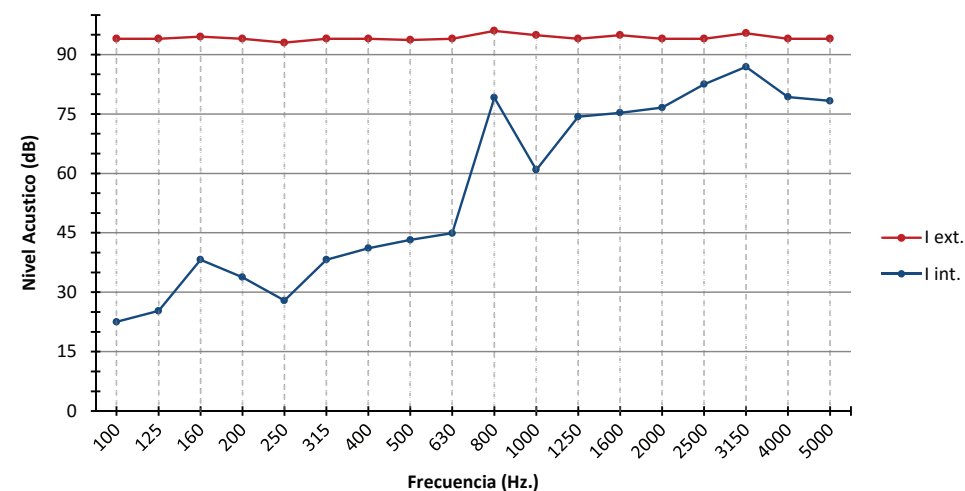
La intensidad acústica de la fuente de ruido rosa fue de 94 Db aproximadamente durante toda la prueba. Al interior del módulo experimental, se registran valores de intensidad acústica desde 22,5 dB a 100Hz y aumenta hasta 86,9dB a 3150Hz, los datos obtenidos se pueden visualizar en el Gráfico 12.



Tabla 20: Análisis prueba de aislamiento acústico.

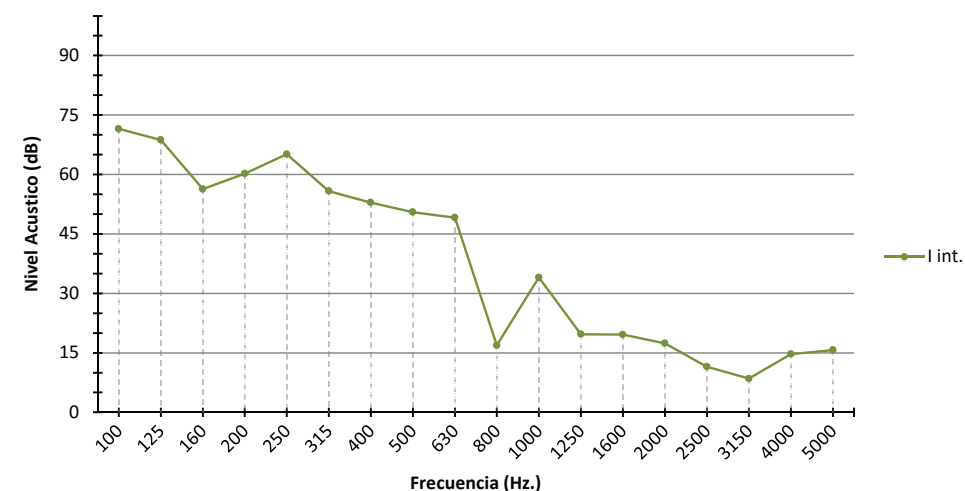
TIEMPO	fi (Hz.)	NAE (Db)	RFE (Db)	NAR (Db)	AAB (Db)
19:46:00	SF	94	50	96	—
19:46:30	SF	94	50	104,6	—
19:47:00	SF	94	50	107,2	—
19:47:30	SF	94	50	101,3	—
19:48:00	SF	94	50	101	—
19:48:30	SF	94	50	94,3	—
19:49:00	100	94	50	22,5	71,5
19:49:30	125	94	50	25,3	68,7
19:50:00	160	94,5	50	38,2	56,3
19:50:30	200	94	50	33,8	60,2
19:51:00	250	93	50	27,9	65,1
19:51:30	315	94	50	38,2	55,8
19:52:00	400	94	50	41,1	52,9
19:52:30	500	93,7	50	43,2	50,5
19:53:00	630	94	50	44,9	49,1
19:53:30	800	96	50	79,1	16,9
19:54:00	1000	94,9	50	60,9	34
19:54:30	1250	94	50	74,3	19,7
19:55:00	1600	94,9	50	75,3	19,6
19:55:30	2000	94	50	76,6	17,4
19:56:00	2500	94	50	82,5	11,5
19:56:30	3150	95,4	50	86,9	8,5
19:57:00	4000	94	50	79,3	14,7
19:57:30	5000	94	50	78,3	15,7
19:58:00	SF	94	50	91,3	—
19:58:30	SF	94	50	94,9	—

Gráfico 12: Análisis de aislamiento acústico.



Fuente: Elaboración propia .

Gráfico 13: Índice de aislamiento acústico aparente.



Fuente: Elaboración propia .

3.9.3 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

Se registraron los valores de frecuencia de la fuente (f_i), se utilizaron sonómetros para obtener los datos de nivel acústico exterior (NAE), Ruido de fondo emisor (RFE), nivel acústico en recepción (NAR), y Aislamiento Acústico Bruto (AAB), datos conseguidos al interior y exterior del módulo experimental. Los datos se presentaron en la Tabla 20. Analizando el Gráfico 13 de los datos obtenidos en la prueba de aislamiento acústico, se puede observar que hay aislamiento en todas las frecuencias evaluadas, el nivel de aislamiento va disminuyendo conforme aumenta los valores de frecuencia. Se dan valores pico en las frecuencias de 160 Hz, 400 Hz, 800 Hz y 3150 Hz, esto puede deberse a que en estas frecuencias el material del panel está en resonancia.

En general los paneles demuestran tener buen nivel de aislamiento acústico; en las frecuencias altas hay un nivel bajo de aislación acústica, probablemente se hubiera podido obtener mejores resultados, con un mejor sellado del módulo experimental. Para determinar el nivel de aislamiento acústico se toma el valor mínimo que se obtuvo en la prueba, este sería en la frecuencia de 3150 Hz. De esta forma se establece que el aislamiento acústico bruto o índice de aislamiento acústico aparente es de 8,5 dB.

3.10 PRUEBAS DE CAMPO DE LOS PANELES.

Con el fin de conocer mejor las prestaciones del panel, se ejecutaron algunas pruebas como corte, perforación y tratamiento superficial, previo a la construcción del tabique prototipo. Se comprobó que el panel es apto para ser perforado y cortado utilizando herramientas eléctricas como taladros, caladoras o amoladoras. Lo cual afirma los datos obtenidos en las pruebas de compresión y flexión del material.

Es recomendable darle un tratamiento en la superficie de los paneles con selladores a base de silicatos para mejorar su resistencia a la humedad. Luego del tratamiento superficial se dejó secar el sellador y se realizó una prueba vertiendo agua durante 30 minutos sobre la superficie del panel. Se pudo observar que el panel no absorbe el agua y el agua fluye sobre la superficie. Esta prueba se realizó en la cara con recubrimiento de arena sílicea, ya que la otra cara es porosa.

Todas las pruebas tuvieron resultados aceptables, con lo que se puede concluir; que los paneles son aptos para ser cortados y perforados para realizar instalaciones y pueden ser sujetos con tornillos autorroscante para madera. También se pueden instalar para exteriores siempre y cuando estén bajo un alero o cubierta.



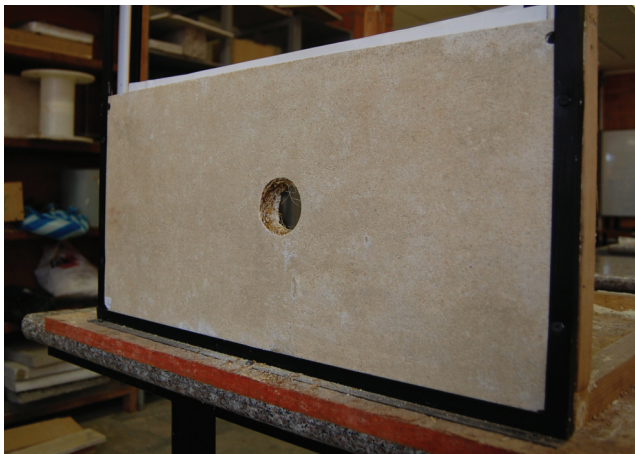
I 62. Prueba de corte del panel.

Fuente: Autor.



I 64. Prueba con tornillos autorroscantes.

Fuente: Autor.



I 63. Prueba de perforación del panel.

Fuente: Autor.



I 65. Tratamiento superficial con sellador.

Fuente: Autor.



I 66. Prueba de absorción.

Fuente: Autor.

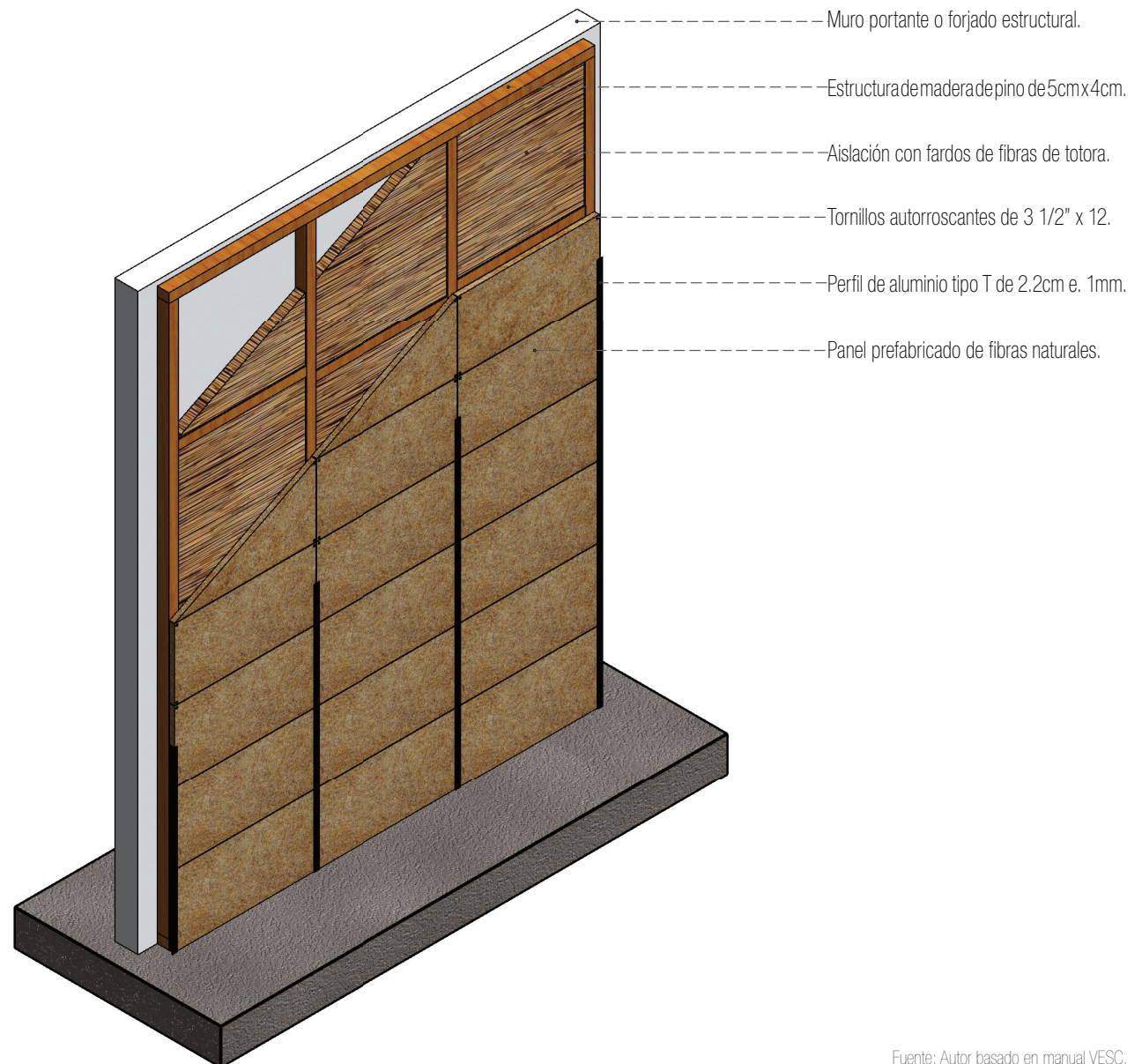


Universidad de Cuenca

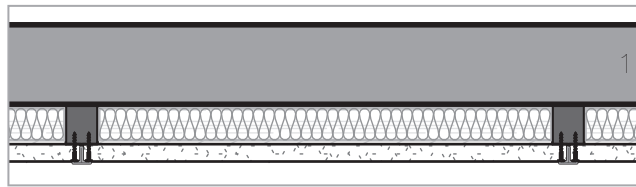
3.11 SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA DE INSTALACIÓN DEL PANEL PREFABRICADO.

Luego de haber estudiado y establecido las características físico-mecánicas y de aislamiento termo-acústico del panel prefabricado diseñado en esta investigación, se procede a determinar el uso y aplicaciones del mismo. Con los resultados obtenidos en los análisis expuestos anteriormente demostramos que el panel cumple con los rangos de las normas vigentes, de igual manera, buenas propiedades como material aislante termo-acústico. De acuerdo con esto se propone que el panel prefabricado tenga aplicaciones para revestimiento de muros, tabiquería liviana y cielo rasos para usos interiores.

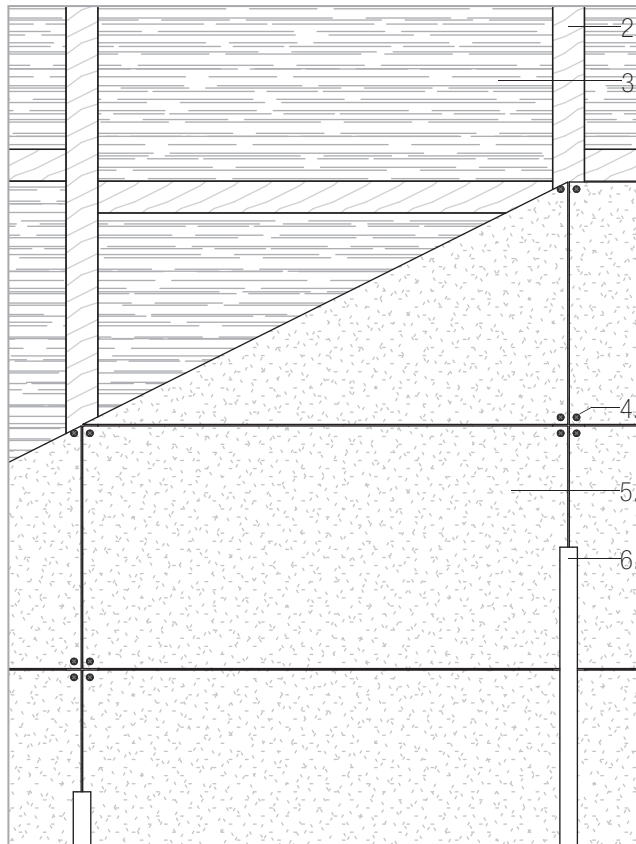
El panel prefabricado de fibra vegetal, puede ser utilizado como elemento de revestimiento ya que requiere de una estructura, que puede ser metálica o de madera, la cual sostenga los paneles y absorba la transmisión de cargas. Se sugiere un sistema constructivo de entramados verticales de madera de pino, que se caracteriza por su ligereza y junta seca. Por tanto, el sistema se basa en entramados (bastidores o armazones) que van de acuerdo a la configuración de la planta arquitectónica, los mismos que pueden recibir los recubrimientos y dar cabida a las instalaciones. Debido a las dimensiones del panel se tienen muchas juntas por donde se puede filtrar aire y disminuir el aislamiento del tabique, por esta razón se propone utilizar un núcleo de fardos de totora, fibra vegetal aislante que también fue estudiada previamente.



Fuente: Autor basado en manual VESC.



PLANTA CONSTRUCTIVA esc. 1:10



I 64. ELEVACIÓN CONSTRUCTIVA esc. 1:10

Fuente: Autor.

1. Muro portante.
2. Estructura de madera de pino de 5cm x 4cm.
3. Aislación con fardos de fibras de totora.
4. Tornillos autorroscantes de 1 1/2" x 10.
5. Panel prefabricado a base de fibras naturales.
6. Perfil de aluminio tipo T de 2.2cm e. 1mm.

Este sistema es flexible y tienen un nivel de prefabricación. La transmisión de cargas de este sistema se basa en una estructura o armazón de barras portantes que soportan su propio peso y los esfuerzos laterales. Las cargas verticales y horizontales son resistidas en conjunto por su estructura. Las uniones se realizan con tornillos autorroscables para madera en los módulos entramados. Todas las piezas de madera con sección idéntica se construye con montantes (pies derechos), transversales y correas inferiores y superiores que atan a la planta, satisfaciendo las exigencias estructurales gracias a su disposición seriada.

3.11.1 MÉTODO DE INSTALACIÓN DE PANELES

El método de instalación fue basado en normas de tabiques estructurales "Manual de diseño para arquitectos VESC", que consiste en una estructura de piezas de madera, esta estructura se reviste con los paneles de fibra natural, las que se fijan al entramado de madera mediante tornillos. Para complementar el sistema, se optó por realizar fardos de totora, para utilizarlos como alma de la tabiquería, para lograr más aislamiento.

La construcción del Prototipo de instalación de los paneles de fibra natural se realizó de la siguiente forma:

- Para la construcción del tabique prototipo, se arma la estructura de madera de pino maciza con una sección de 5cm x 4cm, para montantes y travesaños; las piezas se unen mediante tornillos autorroscables de cabeza plana para madera de 2 1/2 pulgadas x 10.

- Los paneles se sujetan a la estructura, con tornillos autorroscables de cabeza plana para madera de 1 1/2 pulgada x 10. El tornillo perfora fácilmente el panel y la estructura de madera de pino es aconsejable taladrar previamente, los tornillos pueden ser colocados a 1 o 1.5cm del borde del panel para asegurar que se perfora la estructura; un total de 4 tornillos es suficiente para colocar un panel.

- El material aislante entre los paneles es de totora que se consiguió en la parroquia de Paccha en Cuenca. Las fibras de totora fueron sujetadas con piezas de plywood cortadas a laser, que sostienen a las fibras. Estas fibras tiene propiedades de aislamiento muy buenas y simplemente fueron cortadas, además si la totora no está expuesta a la humedad no necesita tratamiento y puede conservarse por mucho tiempo.

- Se debe dejar una junta de dilatación de 2mm o 3mm la cual puede ser rellenada con la misma mezcla del panel o colocando un perfil metálico. De esta manera se le da un tratamiento visual a la junta y la modulación.

Gracias a su nivel de acabado, solidez, resistencia y facilidad de montaje hacen de este prototipo de instalación una solución conveniente. Además se utilizan en su mayoría materiales renovables como la madera de pino y las fibras de totora, lo que convierte esta propuesta en un ejemplo de sistema sostenible se muestran las posibilidades de acabado del sistema constructivo: panel de acabado liso en arena silíceo y el acabado mostrando la textura y naturaleza del panel en los siguientes puntos.



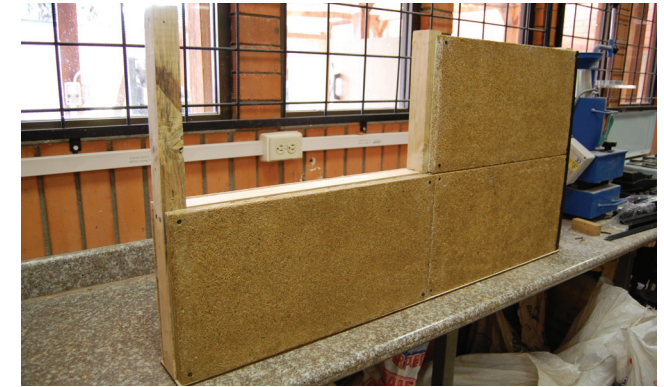
I 70. Producción de paneles prefabricados.

Fuente: Autor.



I 73. Fardos con fibras de totora.

Fuente: Autor.



I 76. Sujeción a la estructura de madera.

Fuente: Autor.



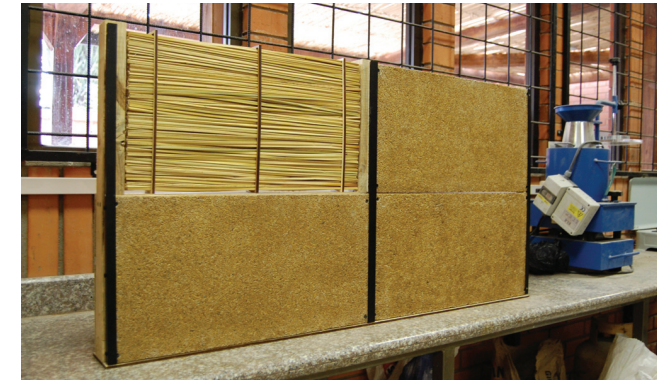
I 71. Fibras de Totorá.

Fuente: Autor.



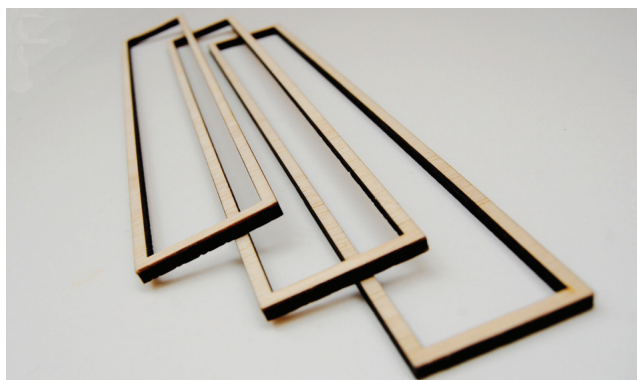
I 74. Tornillos autorroscantes.

Fuente: Autor.



I 77. Construcción de tabique prototipo.

Fuente: Autor.



I 72. Piezas de plywood.

Fuente: Autor.



I 75. Colocación de paneles.

Fuente: Autor.



I 78. Metodo de instalación de paneles.

Fuente: Autor.



I 79. Colocación de paneles en obra.

Fuente: Autor.



I 80. Relleno de fardos de totora.

Fuente: Autor.



I 81. Colocación de perfiles de aluminio.

Fuente: Autor.



I 82. Proceso de instalación del panel.

Fuente: Autor.

3.11.2 INSTALACIÓN EN OBRA DEL PANEL PREFABRICADO.

Durante la realización de este trabajo de investigación, se tuvo la oportunidad de instalar los paneles prefabricados de fibras naturales en la obra de construcción “Prototipo de Vivienda Modular en Madera” diseñada por el autor en colaboración con el Estudio de Arquitectura y Diseño (AyD); para el Innovacentro de Madera de la empresa pública EDEC EP; el objetivo de esta prueba, fue comprobar el método de instalación y las aplicaciones del panel prefabricado de fibras naturales diseñado para este trabajo.

La vivienda prototipo está dentro de las instalaciones de la planta de producción del Innovacentro; toda la estructura del prototipo está compuesta por listones de madera de pino de 4cm x 10cm., ideal para el revestimiento de paneles prefabricados de madera o yeso cartón; estos fueron reemplazados por los paneles de fibras naturales. La modulación de la vivienda fue establecida con un módulo de 61cm., lo cual es compatible facilitando a su vez la instalación del panel de fibras naturales considerando medidas de 61cm x 30,5 cm., que demuestra una coordinación modular entre los elementos.

La colocación de los paneles fue realizado a través de la secuencia constructiva del método de instalación y las pruebas ejecutadas durante la construcción del modelo de tabique prototipo; confirmándose la factibilidad del diseño del sistema constructivo, compuesto por la estructura de madera de pino; núcleo de fardos de totora; paneles de fibras naturales sujetos con tornillos auto-roscantes y los perfiles de aluminio para las juntas.

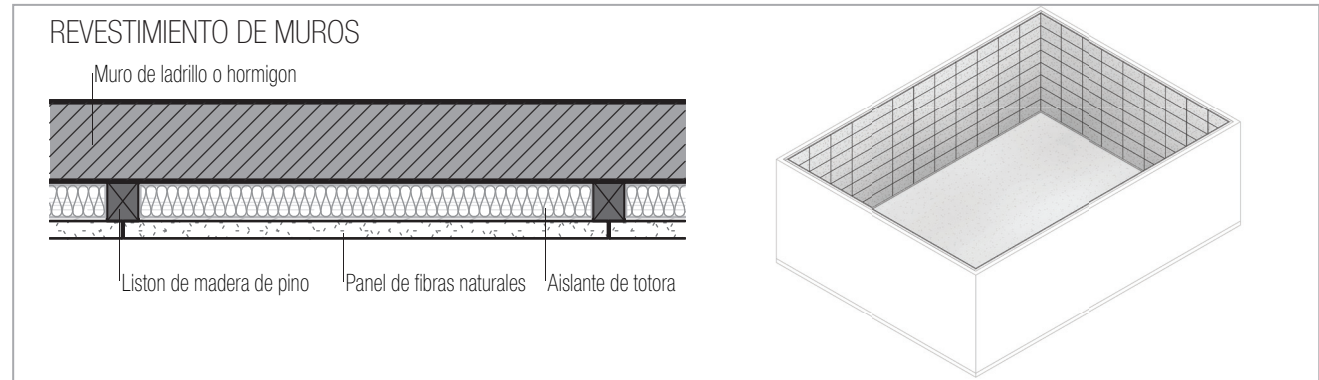
3.12 BENEFICIOS Y USOS DEL PANEL PREFABRICADO DE FIBRAS NATURALES

Después de haber evaluado las distintas características, propiedades y el método de instalación del panel se pudo determinar que el panel prefabricado cuenta con los siguientes beneficios:

- Resistencia mecánica adecuada no estructural.
- Buen coeficiente de aislamiento térmico.
- Reducción de niveles de ruido.
- Paneles de densidad media.
- Sistema de montaje en seco y liviano.

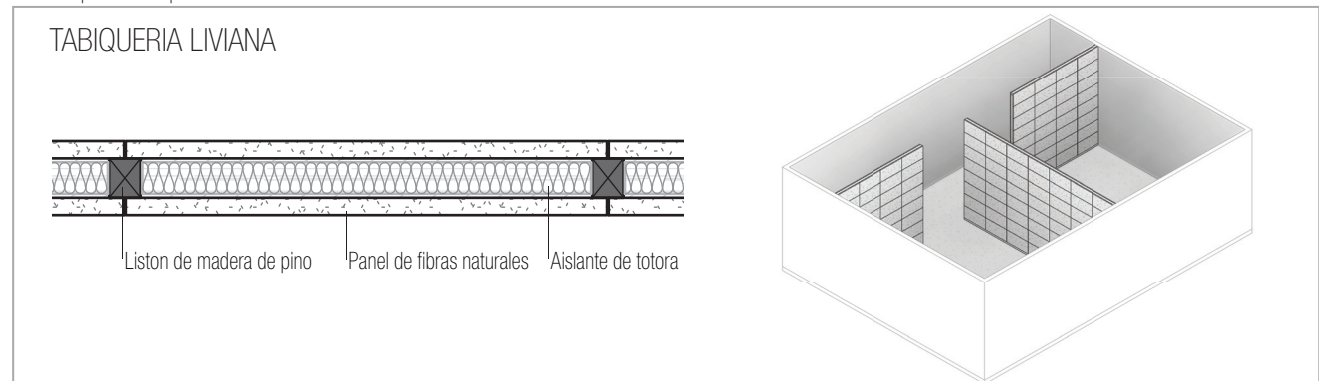
El panel de fibras naturales se puede utilizar como revestimiento en sistemas de construcción en seco, para ambientes interiores. Como se mencionó anteriormente, los paneles se pueden emplear para revestimientos de muros portantes de ladrillo, hormigón, etc. así como tabiques livianos o decorativos y para cielo rasos falsos. Por lo tanto, en el campo arquitectónico y constructivo los paneles de fibra natural desarrollados en esta investigación, pueden tener usos o aplicaciones en:

- Espacios secos de casas y departamentos.
- Salas de conferencia.
- Aulas.
- Bibliotecas.
- Oficinas.
- Salas de música.
- Salas de cine.
- Estudios de grabación.



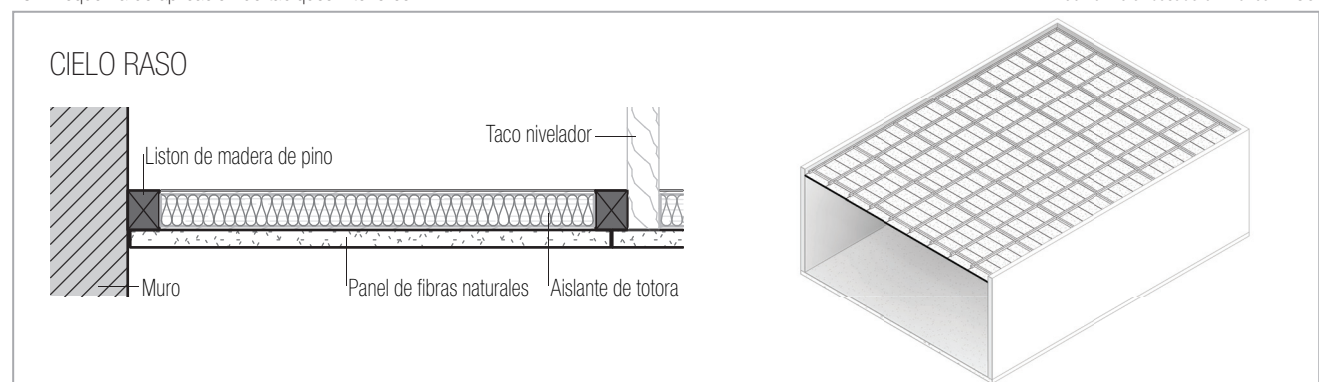
I 83. Esquema de aplicación en revestimiento de muros.

Fuente: Autor basado en manual VESC.



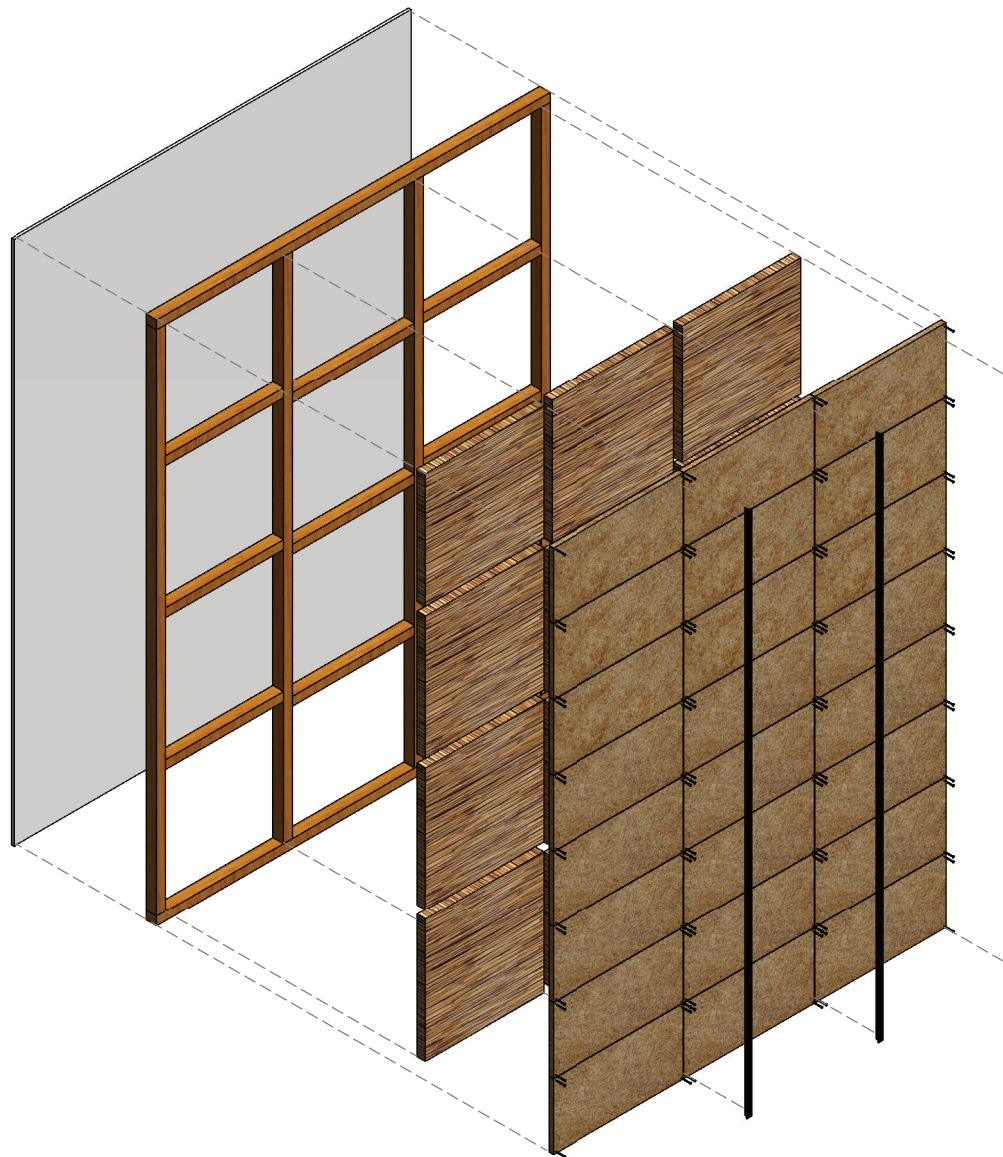
I 84. Esquema de aplicación de tabiques interiores.

Fuente: Autor basado en manual VESC.



I 85. Esquema de aplicación en cielo raso falso.

Fuente: Autor basado en manual VESC.



I 86. SECUENCIA CONSTRUCTIVA

Fuente: Autor basado en manual VESC.

3.12.1 APLICACIONES DEL PANEL PREFABRICADO.

Una vez seleccionado y comprobado el método de instalación para el panel prefabricado, se continuó con un estudio visual de las aplicaciones que podría tener el mismo. Como método de prueba se utilizó la modelación de diseño virtual y montajes fotográficos en base de las especificaciones técnicas y formales de los materiales. Las pruebas de montaje de la propuesta formal de los paneles prefabricados de fibra natural, se realizaron en la vivienda del Ing. Esteban Samaniego. Concretamente en la sala de televisión y el estudio, estos ambientes son contiguos y necesitan de aislación acústica en el muro de división, además de presentar un tratamiento estético en el mismo.

Además utilizamos el sistema Drywall presentado en el numeral anterior en el que los paneles están soportados por un entramado de tiras de madera de 4cm. X 5cm. La secuencia constructiva se puede observar en la imagen 74. Esta solución se puede utilizar para revestimiento de muros de mampostería, divisiones de tabiquería liviana, y cielo raso; para el revestimiento de muros la estructura se ancla a la mampostería por medio de tacos fisher y tornillos triplepató. En los tabiques livianos la estructura se ancla al piso de acuerdo al plano de diseño y luego se reviste con los paneles en uno o ambos lados. En el caso del cielo raso el entramado sería en sentido horizontal en la que puede ir directamente o dejando una cámara de aire bajo la estructura de entrepiso o techo, el entramado podría estar suspendido mediante tiras de madera o cables. En todos los casos es una opción complementar el sistema con fardos de totora para un mayor aislamiento.

a. Revestimiento de Muros. (textura natural)





b. Cielo Raso. (textura arena sílicea)



c. Tabiquería liviana o decorativa.(textura natural)





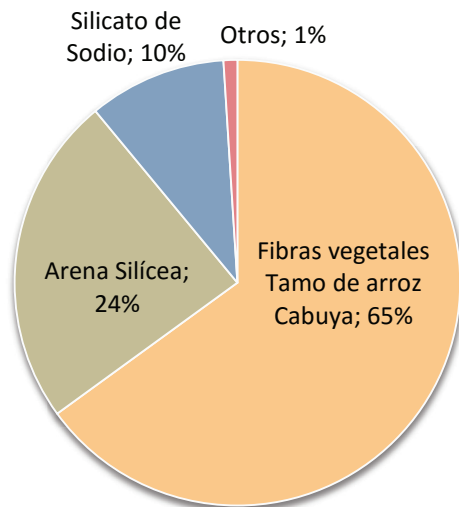
- Fotografía del espacio arquitectónico.



- Montaje fotográfico de paneles (combinación de texturas)



Figura 4: Proporciones de materiales del producto



Fuente: Autor

3.13 ANÁLISIS DE EVALUACIÓN MEDIO AMBIENTAL DEL PANEL PREFABRICADO.

El análisis de evaluación medio ambiental, permite establecer criterios sobre el uso de los paneles prefabricados de fibras naturales. Es decir, que es importante definir la selección de los criterios ambientales del producto para identificar y estimar el impacto medio ambiental de este. En la figura 4 se establece la aplicación de fibras vegetales en un 65%, los cuales, son materiales renovables. Además se indica que el mayor porcentaje corresponde a materiales naturales, aplicando esta proporción es posible estimar el porcentaje de contaminación agrupados por indicadores de emisión de materiales, este análisis indica que hay menores emisiones contaminantes en el producto, sin embargo debemos referirnos a la selección y desarrollo de los criterios medio ambientales conforme al ciclo de vida del material o producto final, indicada en la norma técnica NTC ISO 14024. En la Tabla 21 se realiza el análisis correspondiente al Ciclo de vida del producto.

La matriz de selección de etiqueta medio ambiental Tipo 1, establece el nivel de impacto ambiental de los materiales de construcción, estos impactos son evidentes en la extracción y producción de materiales comunes como el hormigón, pero son menores con respecto a la contaminación en la producción de materiales de construcción ecológicos. Por ejemplo; en la ciudad de Cuenca aplicando métodos de cocción con hornos ecológicos para la fabricación de ladrillos disminuye 150 toneladas de CO₂ por año, este dato es importante ya que se pudiera disminuir con un valor mayor utilizando la propuesta de este proyecto.

Los materiales que componen el panel prefabricado son en parte renovables y en parte biodegradable por las fibras vegetales del tamo de arroz que es un residuo de producción agrícola. Lo que permite un menor impacto medio ambiental frente a los materiales de construcción comunes, como se describió en el punto 1.3 sobre el impacto ambiental de los materiales de construcción.

En la producción de los paneles se utilizan equipos sencillos y es una opción aplicar mínimas cantidades de CO₂ para un endurecimiento rápido. Este proceso puede ser mejorado utilizando cámaras herméticas que no disipen CO₂ al ambiente y se recicle el gas contaminante, reutilizándolo en cada aplicación.

Es importante destacar que para obtener una eco-etiqueta se requiere realizar un análisis que contengan las siguientes especificaciones:

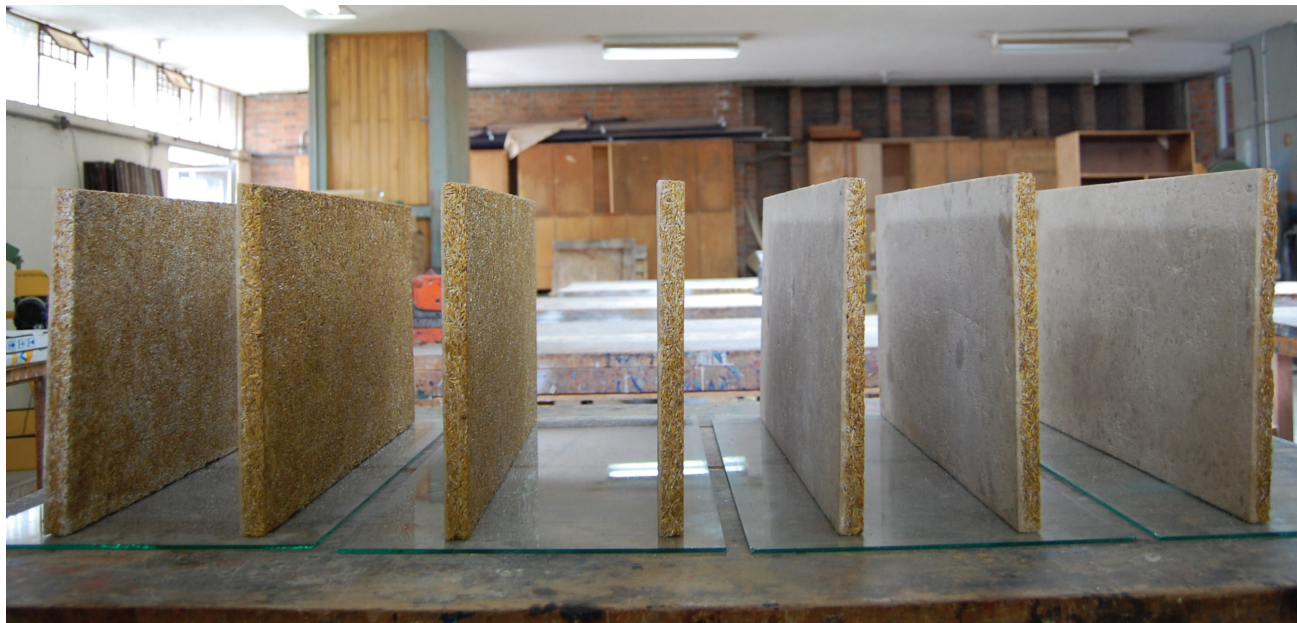
- Identificación de las características funcionales del producto
- Selección de los elementos claves del desempeño
- Verificar que todos los elementos claves del desempeño sean aplicables a todos los productos de la categoría
- Identificación de los niveles de desempeño

El método experimental y diseño de los paneles prefabricados utiliza materiales naturales y fibras vegetales, además un método simple de producción, lo que permite estimar que existe un mediano impacto ambiental en la fase de producción de los paneles, de acuerdo con la aplicación de la matriz de selección de criterios ambientales del producto.

Tabla 21: Análisis del ciclo de vida - Matriz de selección de criterios ambientales del producto. Ecoetiqueta Tipo 1.

Etapas del Ciclo de Vida	INDICADORES DE ENTRADAS/SALIDAS AMBIENTALES					
	Energía	Recursos	Emisión			Otros
	Renovable/ No Renovable	Renovable/ No Renovable	Agua	Aire	Suelo	
Extracción de recursos	La extracción se realiza utilizando maquinarias de consumo no renovable	Renovables 65%	x	x	X	
Producción	La producción es limpia sin embargo la aplicación de CO ₂ utiliza recurso no renovable.	Renovables 65%		X		
Distribución	No renovable por el transporte	Renovables		X		
Uso	Renovable	Renovables			x	
Disposición Final	No renovable ya que se aplican estabilizadores, pero son biodegradables.	Renovables 25%				

Fuente: Elaboración propia bajo la norma NTC- ISO 14024:2000.



I 92. Paneles de fibra natural de tamo de arroz y arena sílicea.

Fuente: Autor.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.





Universidad de Cuenca

4.1 CONCLUSIONES

La realización del panel compuesto por fibras naturales fue posible luego del estudio y análisis de diferentes sistemas constructivos tradicionales y prefabricados; en la combinación de materiales, conceptos, técnicas y procesos de fabricación. Los porcentajes de los componentes del panel presentado en esta investigación, se basaron en los ensayos realizados en el laboratorio; a la vez que su proceso de elaboración e instalación en obra es semejante al de los materiales prefabricados existentes en el mercado. En la producción del panel se utilizaron materiales naturales como las fibras vegetales que en este caso, el mayor componente es un residuo agrícola, además se desarrolló un proceso simple de fabricación para obtener el producto final, que no requiere de equipos complejos. Con lo cual, según el análisis del ciclo de vida del producto se podría estimar que el panel prefabricado desarrollado en la presente investigación tiene un menor impacto sobre el medioambiente, en su fase de extracción de recursos y producción del producto final, comparado con los materiales comunes de construcción.

Basándose en investigaciones anteriores sobre paneles ecológicos, se determinó como componente principal al tamo de arroz (fibra vegetal) procedente de la industria agrícola; este residuo agroindustrial es abundante y de fácil obtención en nuestra región por ser un país, productor y exportador. El tamo de arroz es un desecho de la producción

del cereal, que en esta investigación se utilizó como recurso que con un tratamiento mínimo, puede servir como materia prima para elaborar un elemento constructivo. Luego de estudiar algunos componentes, se determinó como materiales estabilizadores a la arena silíceo y fibras de cabuya; y como aglutinante al componente químico de silicato de sodio, algunos de estos materiales no son de uso tradicional pero son materiales que encontramos disponibles en la región.

El aporte fundamental de este trabajo frente a los antecedentes estudiados de otras investigaciones, fue en la dosificación de los materiales y componentes, así como, la tecnificación del proceso de producción del panel prefabricado. El número de materiales y componentes de la mezcla base facilita el proceso de fabricación del panel, y estos tienen en común un alto contenido de sílice lo que les hace compatibles; a la vez, el aglutinante envuelve a la fibra vegetal protegiéndole de la degradación. La arena silíceo le da solidez, dureza y un peso específico medio al panel. El único componente artificial con procesamiento es el silicato de sodio que está presente en la formulación final, con un porcentaje de alrededor del 10%, lo cual está de acuerdo con los conceptos de Eco materiales. El prensado de la mezcla mejora y estabiliza las propiedades de resistencia del panel obteniendo paneles más esbeltos; de acuerdo a los resultados se apreció que, mientras más fuerza de compactación se aplica, se obtuvo mayor resistencia a la ruptura.



I 93. Paneles propuestos.

Fuente: Autor.

Tabla 19: Propiedades del panel prefabricado de fibras naturales.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Dimensiones	61cm x 30,5cm
Espesor	2,2 cm
Peso	2,9 kg
Densidad	700 Kg/m ³
Humedad relativa	5,91 %
Módulo de ruptura	55,7 kg/cm ²
Coefficiente de aislamiento térmico	0,055 W/m ² K
Índice de aislamiento acústico	8,5 dB

Fuente: Autor.

El panel se compone de: tamo de arroz, fibras de cabuya y arena silícea, conglomerados con silicato de sodio; esta mezcla puede ser complementada con la inyección de dióxido de carbono CO₂, que acelera el proceso de solidificación. Con la mezcla base obtenida, se pudo elaborar paneles prefabricados con buenas características de trabajabilidad, peso específico y resistencia mecánica adecuada; se obtuvieron paneles con densidad media de 700Kg/m³, humedad relativa de 5,91 %, módulo de ruptura de 55,7 kg/cm², parámetros que están dentro de los rangos exigidos por las normas técnicas NTC2261:2003 y ANSI 208.1:1999.

En cuanto a las características y propiedades de aislamiento termo-acústico, del material que compone el panel demostró tener cualidades favorables, alcanzando los valores de: coeficiente de aislamiento térmico de 0,055 W/mK e índice de aislamiento acústico de 8,5 dB, comparables con productos aislantes comercializados; estos parámetros de aislamiento termo-acústico son valores acercados y relativos debido a la complejidad de las pruebas que tuvieron que ser adaptadas a los espacios y equipos con los que cuenta la Universidad de Cuenca.

Las dimensiones del panel que se obtuvo son de 61cm x 30.5 cm y 2.2 cm de espesor. Realizando un análisis de costos se estima un valor de 2.5 dólares por panel. Con este valor más los costos de instalación, se puede determinar un precio de 13.21 dólares por m² de recubrimiento. Estos costos se pueden mejorar, estableciendo procesos y técnicas de producción en serie para lograr precios competitivos en el mercado. Los costos de transporte e instalación serían similares al de los tableros prefabrica-

dos comerciales, aunque tendría un menor rendimiento, en la puesta en obra, por las dimensiones del panel.

Otro de los aportes en cuanto a la aplicación del producto, es la utilización de los paneles como aislantes termo-acústicos, aunque se debe mejorar sus características en su densidad. En el método de instalación de los paneles se utilizó madera de pino que es una fibra vegetal que puede ser cultivada siendo esta un recurso renovable. Opcionalmente fueron adheridos fardos de totora para complementar el aislamiento y perfiles de aluminio como un manejo estético. La implementación de los paneles de fibra natural representaría un gran beneficio como una alternativa viable en el sector del diseño y la arquitectura. En la búsqueda de aprovechar recursos naturales, como el tamo de arroz, utilizando este residuo agrícola para convertirlo en un recurso, además la mayoría de materia prima es natural y se produce en nuestro país, es de fácil adquisición y su precio es bajo.

Por todas las características determinadas en el proceso de diseño del panel prefabricado a base en fibras naturales se concluye que los principales usos y aplicaciones son para espacios interiores en revestimiento de: muros, cielo raso y tabiquería liviana o decorativa. Brindando, buenas condiciones de aislamiento termo-acústico y además un sistema de coordinación modular prefabricado. Los cuales, pueden ser utilizados en: espacios secos de casas y departamentos como salas, estudios y dormitorios; así como salas de conferencia, aulas, bibliotecas, oficinas, salas de música y cine, estudios de grabación, etc. Lo cual convierte esta propuesta en una alternativa de construcción sostenible.

4.2 RECOMENDACIONES.

Se recomienda seguir profundizando en estos temas de investigación de alternativas sostenibles para aplicaciones en arquitectura y construcción. En los cuales, se estudia materiales naturales y fibras vegetales, dado su factibilidad en el desarrollo de materiales de bajo impacto ambiental. Está demostrado que la utilización de materiales ecológicos y prefabricados, optimiza los procesos de construcción a la vez que proceden de recursos renovables. Por tanto, se debe seguir desarrollando nuevas alternativas en diferentes tipos de elementos constructivos, mejorando los procesos de producción e industrialización para lograr productos rentables y de bajo costo. Aprovechar estos recursos beneficia la preservación del medio ambiente, y además las posibilidades de obtener elementos para diferentes áreas de diseño y construcción son múltiples.

El proceso de producción del panel de fibras naturales necesita ser mejorado con equipos especializados de producción de tableros aglomerados, como es el caso de la compactación de la mezcla del panel que puede mejorarse con una prensa hidráulica, de esta manera se podría mejorar enormemente las características físico-mecánicas del panel así como sus dimensiones. Con estas mejoras, se lograría presentar esta propuesta como una alternativa a los tableros aglomerados de madera; contribuyendo a la disminución de la explotación de recursos forestales. También puede crearse un ciclo productivo industrial en el que se utilice la fibra vegetal del tamo de arroz, generando ingresos económicos para comunidades campesinas.



I 94. Prototipo de revestimiento de paneles prefabricados a base de fibras naturales.

Fuente: Autor.

BIBLIOGRAFÍA

Y CRÉDITOS





Universidad de Cuenca



CAPÍTULO 1

AITIM. «Tablero de partículas.» 2011. http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro2011/Ta-bleros_particulas.pdf (último acceso: 2015 de diciembre de 26).

Chan, Mario H., Omar Araujo, Manuel Azueta, y Luis E. Solís. «Tableros de madera de partículas.» Ingeniería Revista Académica, 2004: 39-45.

Cobrerros Rodríguez, Carlos. Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2009.

EPF. «Información Técnica OSB.» European Panel Federation. 2012. <http://www.europanel.org> (último acceso: 18 de noviembre de 2015).

Hayon, Jaime. Las Fibras Vegetales en la Construcción. 2011. <https://interioresymas.wordpress.com/2011/12/16/las-fibras-vegetales-en-la-construccion/> (último acceso: 15 de noviembre de 2015).

Hugues, Theodor, Ludwing Steiger, y Johan Webber. Construcción con Madera.: Detalles, productos, ejemplos. Barcelona: GG Edition Detail., 2009.

MacDonald, S. O. Construcción con fardos de paja. Kingston: Builders without Borders BWOB, 1999.

Martín, Andrés. Construcción con balas de paja. 2011. <http://equipoaparejador.com/blog/http://equipoaparejador.com/blog/2011/09/construccion-con-balas-de-paja.html>

(último acceso: 20 de noviembre de 2015).

Moran, Jorge. «Arquitectura y construcción sostenible.» Eco-materiales para la construcción . 2011. http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/11_UCSG_Eco-materiales-para-la-construccion-2011.pdf (último acceso: 15 de diciembre de 2015).

Payá, Miguel . Aislamiento térmico y acústico. Barcelona: Ediciones CEAC, 1976.

Rossi, Patricia. Construcción ecológica con fardos de pasto. 2013. <http://ideasparaconstruir.com/n/770/construccion-ecologica-con-fardos-de-pasto.html> (último acceso: 15 de noviembre de 2015).

Serrano , et.al. «Asri.» Sobre la evaluación de la sostenibilidad de materiales de construcción. s.f. <http://asri.eumed.net/9/eco-etiquetas.html> (último acceso: 15 de julio de 2016).

Simbaña, Andrés. «Fibras naturales y residuos agroindustriales. Fuente sostenible de materia prima.» Axioma, 2010.

Velasco, Luis. «Investigación y desarrollo de aislantes térmicos naturales basados en residuos de biomasa para su aplicación en la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones en américa latina.» ESPE. 2015. <http://luisvelas-cordolan.com/?p=1326,%20Noviembre%202015> (último acceso: 2 de diciembre de 2015).

Viñuales, Graciela María. «Tecnología y construcción con tierra.» APUNTES, 2007: 220.



CAPÍTULO 2

Abad, Mateo, José Aguirre, y Freddy Pañega. Diseño de Paneles Prefabricados en Tierra. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2012.

Altamirano, Claudia, y Edmundo Cueva. Estudio y Experimentación de paneles estructurales y de revestimiento en base de la caña de la sierra. Cuenca: Universidad de Cuenca., 2011.

Barcia Ruiz, Wendy. La Producción de Arroz en el Ecuador. 29 de octubre de 2012. <http://ambitoeconomico.blogspot.com/2012/10/la-produccion-de-arroz-en-el-ecuador.html> (último acceso: 25 de enero de 2016).

Bizzoto, Marcela, Mario Natalini, y Gaspar Gomez. Mini-hormigones con cascarilla de arroz natural y tratada como agregado granular. Buenos Aires: Universidad Nacional del Nordeste, 1998.

Cadena, Carolina, y Antonio Bula. «Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz.» Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte., 2002: 8-9.14.

Calero, Felipe, y Luis Vascones. Desarrollo experimental de un aislante termico utilizando cascarilla de arroz y aglutinantes naturaleza en planchas rígidas. Quito: Escuela Politecnica del Ejercito, 2012.

MAGAP. Informe situacional de la cadena del arroz. Quito: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2013.

MIDUVI. Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC. Capítulo 8. Estructuras de Madera. Quito: MIDUVI, 2014.

Quiceno, David, y Marvin Mosquera. Alternativas tecnologicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible. Santiago de Cali: Universidad Autonoma de Occidente, 2010.

Reyes, Sergio Enrique. Panel de fibra vegetal para la división de espacios interiores. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2012.

Stulz, Roland, y Kiran Mukerji. Materiales de construcción apropiados. London: SKAT & IT Publications, 1993.

CAPÍTULO 3

AEBOE. Documento básico HR, protección frente al ruido. Madrid: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado., 2009.

COJEN. Medición del aislamiento acústico entre dos recintos. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid., 2010.

ICONTEC. Tableros de Partículas Aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales. Bogota: ICONTEC, 2003.

INEN. Eficiencia energetica en edificaciones . Quito : Instituto Ecuatoriano de Normalizacion , 2009.

Laplace. «Universidad de Sevilla.» Departamento de fisica aplicada III. 07 de noviembre de 2007. <http://faeuat0.us.es/ff/Carpetas/Practicas/Practica05.pdf> (último acceso: 30 de enero de 2016).



CRÉDITOS IMÁGENES

Los bocetos, imágenes, cuadros, planos, renders y montajes fotográficos fueron realizados por el autor a excepción de las imágenes citadas a continuación.

CAPÍTULO 1

- I 01. <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2015/12/casas-de-paja-sustentables-andres-martin.html>
- I 02. <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2013/07/arquitxturas-naturales-19-techos-con.html>
- I 04, I 08. <https://interioresymas.wordpress.com/2011/12/16/las-fibras-vegetales-en-la-construccion/>
- I 05. <https://mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/2008-09-tesinas-pres/18-carlos-cobrerros-rodriguez-uso-de-fibras-vegetales-en-la-edificacion-sostenible.pdf>
- I 06, I 07. <http://www.ecointeligencia.com/2013/02/analisis-ciclo-vida-acv/#lightbox/1/>
- I 09. <https://arquitecturaholistica.wordpress.com/2010/06/16/inicio/>
- I 11. <http://www.dearquitectura.uchile.cl>
- I 12. <http://bioconstruccion.blogspot.com/2010/09/nuevo-libro-sobre-casas-de-balas-de.html>
- I 13. <http://www.eoi.es/blogs/enarbravo/2011/11/10/100-bioconstruccion/>
- I 14. http://www.cronicadelquindio.com/noticia-completa-titulo-el_70_de_quienes_poseen_viviendas_en_gadua_cree_que_es_un_buen_material-seccion-la_general-nota-59575
- I 16. <http://www.universoarquitectura.com/el-bambu-como-material-de-construccion/>
- I 17. <http://www.arquigrafiko.com/sistema-constructivo-drywall-divisiones-de-yeso/>
- I 18. <http://universomaterialmyp.blogspot.com/2015/05/>
- I 19. pyl-placa-de-yeso-laminado-el-carton.html
- I 21. Fuente: <http://www.decoracionesazuqueca.com>
- I 20. <http://www.senkereste.net/?newUrun=1&I>
- I 22. http://www.egger.com/EX_en/products/?N=4294964395
<http://www.gomezcarpinteria.com/portfolio-view/>
- I 23. [corte-y-venta-de-tablero-contrachapado-a-medida-](#)
- I 25, [en-carballo-a-coruna/](#)
- I 24. <http://www.eco-materiales.net>
- I 26, I 27, I 28. Hugues, Theodor, Ludwing Steiger, y Johan Webber. Construcción con Madera.: Detalles, productos, ejemplos. Barcelona: GG Edition Detail., 2009.
- I 29. <http://chozasdecordobaandalucia.blogspot.com/2012/02/fibras-vegetales-i.html>
<http://laislacosmica.wordpress.com/2013/09/17/dossier-arquitectura-sostenible-con-materiales-naturales/>



CRÉDITOS IMÁGENES

Los bocetos, imágenes, cuadros, planos, y montajes fotográficos fueron realizados por el autor a excepción de:

CAPÍTULO 2

- I 02. <http://www.quiminet.com/articulos/los-tipos-de-pintura-16445.htm>
- I 03. <http://www.silicatosespeciales.com.mx/>
- I 04. <http://www.pac.com.ve/contenido/industria/materiales-compuestos-para-la-construccion/11012/87>
- I 05. <http://www.semillasdelino.net/imagenes/semillas-de-lino.jpg>
- I 06. <http://www.quiminet.com/articulos/los-usos-y-aplicaciones-mas-comunes-de-la-cal-hidratada-3366332.htm>
- I 07. <http://salud.uncomo.com/articulo/cuales-son-las-propiedades-de-la-arcilla-roja-34739.html>
- I 08. <http://www.geengeek.com/construmat-innovation-center-una-ventana-a-lo-mas-nuevo-en-productos-de-construccion-2/>
- I 09. <http://www.silicesmadrid.com/>
- I 10. <https://mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/2008-09-tesinas-pres/18-carlos-cobrerorodriguez-uso-de-fibras-vegetales-en-la-edificacion-sostenible.pdf>
- I 11. <http://voices.nationalgeographic.com/2012/06/13/bamboo-a-beautiful-and-versatile-material/>
- I 12. <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2013/07/arquitxturas-naturales-19-techos-con.html>
- I 14. <http://eugeniamuscio.blogspot.com/2013/12/shigras-de-la-sierra-de-ecuador.html>
- I 15. <http://www.ecologiaverde.com/estudiantes-uruguayos-crean-hormigon-a-base-de-cascara-de-arroz/>

CAPÍTULO 3

- I 01. <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen8/tableros.pdf>
- I 02. <http://www.ele.com>
- I 03. <http://www.directindustry.es/prod/ohaus/product-5711-1559358.html>
- I 04. <http://www.hoskin.ca>
- I 35. <http://deltaohm.com.co/web/>
- I 36. <http://www.omega.com/pptst/OS425-LS.html>
- I 37. <http://www.nauticexpo.es/prod/nk/product-21850-251401.html>
- I 38. <http://www.directindustry.es/prod/casella/product-31897-569241.html>

A N E X O S





Universidad de Cuenca



ANEXO 1

ANSI A208.1-1999 Particleboard

Table A
Requirements for Grades of Particleboard^{1,2}

Grade ³	Dimensional Tolerances			Physical and Mechanical Properties ⁴								Formaldehyde Maximum Emissions ppm
Length & Width mm (inch)	Thickness Tolerance ⁵		Modulus of Rupture N/mm ² (psi)	Modulus of Elasticity N/mm ² (psi)	Internal Bond N/mm ² (psi)	Hardness N (pounds)	Screw-holding		Linear Expansion max. avg. percent			
	Panel Average from Specified mm (inch)	Variance from Panel Average mm (inch)					Face N (pounds)	Edge N (pounds)				
H-1	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	16.5 (2393)	2400 (348100)	0.90 (130)	2225 (500)	1800 (405)	1325 (298)	NS ⁶	0.30	
H-2	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	20.5 (2973)	2400 (348100)	0.90 (130)	4450 (1000)	1900 (427)	1550 (348)	NS	0.30	
H-3	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	23.5 (3408)	2750 (398900)	1.00 (145)	6675 (1500)	2000 (450)	1550 (348)	NS	0.30	
M-1	±2.0 (0.080)	±0.250 (0.010)	±0.125 (0.005)	11.0 (1595)	1725 (250200)	0.40 (58)	2225 (500)	NS	NS	0.35	0.30	
M-S	±2.0 (0.080)	±0.250 (0.010)	±0.125 (0.005)	12.5 (1813)	1900 (275600)	0.40 (58)	2225 (500)	900 (202)	800 (180)	0.35	0.30	
M-2	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	14.5 (2103)	2250 (326300)	0.45 (65)	2225 (500)	1000 (225)	900 (202)	0.35	0.30	
M-3	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	16.5 (2393)	2750 (398900)	0.55 (80)	2225 (500)	1100 (247)	1000 (225)	0.35	0.30	
LD-1	±2.0 (0.080)	+0.125 (0.005) -0.375 (0.015)	±0.125 (0.005)	3.0 (435)	550 (79800)	0.10 (15)	NS	400 (90)	NS	0.35	0.30	
LD-2	±2.0 (0.080)	+0.125 (0.005) -0.375 (0.015)	±0.125 (0.005)	5.0 (725)	1025 (148700)	0.15 (22)	NS	550 (124)	NS	0.35	0.30	

- 1) Particleboard bonded with a resin system containing formaldehyde, other than an exclusively phenol formaldehyde resin system, is subject to the formaldehyde emission conformance requirements.
- 2) Grades listed in this table shall also comply with the appropriate requirements listed in Section 3 of this Standard. Panels designated as "Exterior Glue" must maintain 50% MOR after ASTM D 1037 accelerated aging (Subsection 3.3.5).
- 3) Refer to Annex B for general use and grade information.
- 4) Physical and mechanical property values represent a five panel average.
- 5) Thickness tolerance values are only for sanded panels. Unsanded panels shall be in accordance with any thickness tolerances specified by agreement between the manufacturer and the purchaser.
- 6) NS - Not Specified



ANEXO 2

PRESUPUESTO PANEL PREFABRICADO DE FIBRAS NATURALES						
Panel 61 x 30.5cm e 2.1 cm, Unidad: u						
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDMIENTO	COSTO	%
HERRAMIENTA MENOR		5% M.O			0.02	
				SUBTOTAL- M	0.016	0.241
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDMIENTO	COSTO	%
Peón	1	2.78	2.78	0.1	0.06	
Albañil	1	2.82	2.82	0.1	0.06	
				SUBTOTAL - N	0.12	4.82
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	%
Tamo de Arroz		m³	0.003	1.50	0.002	
Fibras de cabuya		m³	0.0006	2.00	0.002	
Arena sílicea		Kg	2.4	0.14	0.34	
Silicato de sodio		Kg.	0.7	2.22	1.55	
Agua		m³	0.0005	0.50	0.002	
Dióxido de Carbono		m³	0.002	8.00	0.02	
				SUBTOTAL - O	1.896	76.63
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	%
Arena sílicea		Kg	2.4	0.075	0.005	
Tamo de Arroz		m³	0.003	2% M. MENOR	0.001	
Fibras de cabuya		M³	0.0006	2% M. MENOR	0.001	
				SUBTOTAL - P	0.007	0.27
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				22%	2.05	81.967
INDIRECTOS Y UTILIDADES (10%+12%)					0.45	18.033
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2.50	100
VALOR OFERTADO				2.50		

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

(LUGAR Y FECHA)

Cuenca, enero de 2016



ANEXO 3

PRESUPUESTO REVESTIMIENTO CON PANELES PROPUESTOS						
Revestimiento con paneles de fibra natural y aislante térmico e=7,1cm, Unidad: m²						
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	%
HERRAMIENTA MENOR		5% M.O			0.04	
				SUBTOTAL- M	0.043	0.32
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	%
Peón	1	2.78	2.78	0.16	0.43	
Albañil	1	2.82	2.82	0.16	0.44	
				SUBTOTAL - N	0.868	6.56
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	% rowspan="6">	
Panel de fibra vegetal	u	5	1.50	15.00		
Tiras de pino 5 x 4 cm	ml	3.5	0.40	1.40		
Tornillo autorroscante 1.5" x 10	u	3	0.04	0.12		
Tornillo autorroscante 2.5" x 10	u	20	0.03	0.60		
Aislante de Totorá	m³	0.4	0.20	0.08		
				SUBTOTAL - O	9.7	73.40
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	% rowspan="4">	
Montantes de pino	ml	3.5	0.055	0.19		
Aislante de Totorá	m³	0.4	2% M. MENOR	0.03		
				SUBTOTAL - P	0.211	1.669
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				22%	10.832	81.967
INDIRECTOS Y UTILIDADES (10%+12%)					2.383	18.033
COSTO TOTAL DEL RUBRO					13.215	100
VALOR OFERTADO				13.21		

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

(LUGAR Y FECHA)

Cuenca, enero de 2016



ANEXO 4



CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES

Oficio No. 110-15-CEA

Cuenca, 17 de noviembre de 2015.

Señor
Andrés Peña Romero,
EGRESADO FACULTAD DE ARQUITECTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA
Ciudad.

De mis consideraciones:

Adjunto al presente sírvase encontrar la información meteorológica solicitada por Usted, según oficio de fecha 12 de noviembre de 2015. Misma que le servirá para la elaboración de pruebas y ensayos de la tesis que se encuentra realizando.

Particular que pongo en su conocimiento.

Atentamente,

Dra. María Eulalia Vanegas
DIRECTORA DEL CEA



Adj.: Información meteorológica.



ANEXO 5



Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Laboratorio de Construcciones y aplicaciones bioclimáticas

Cuenca, Azuay

Informe No LCAB-FAU-2016-0001-L

Cuenca, 14 de julio 2016

En referencia a los diferentes ensayos que se realizan en el laboratorio y a petición de la tesis de grado "Panel prefabricado a base de fibras naturales".

Informe

Que él estudiante Bolívar Andrés Peña Romero con CI 0103929600, ha realizado los ensayos de esfuerzos mecánicos (compresión y flexión) y de contabilidad de datos climatológicos como proceso de análisis del material que utiliza para su tesis, con el título antes descrito.

El día de ensayo corresponde 25 de octubre al 05 de diciembre del 2015, con un total de 30 muestras ensayadas en la máquina para ensayos de compresión y flexión, ACCU-TEK touch 350, mediante la norma ASTM C-39; AASHTO T-22, y capacidad de 1,555 kN (350.000,00 lbf). Los ensayos térmicos se realizaron con un pirómetro, un anemómetro y una estación meteorológica delta OHM en el día 27 de noviembre de 2015. Y 5 muestras ensayadas a flexión con fecha 08 de julio de 2016.

Para que conste donde sea oportuno firmo la presente el día 14 de julio de 2016, y se adjunta el resultado de los ensayos.


Edison Castillo C.

Registro.7526 R-15-25780

Técnico Docente;





ANEXO 6

	ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN SIMPLE			Número:	0001	
	Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca			Fecha de creación:	26/10/2015	
	Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas			Fecha de revisión:	11/07/2016	
	Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350,			Año lectivo:	2015-2016	
				Responsable:	Edison Castillo.	

Proyecto: Panel prefabricado a base de fibras naturales



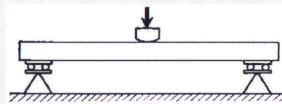
Solicitado por: Andrés Peña Romero

FECHA DE CONFECCION	FECHA DE ROTURA	EDAD ENSAYO (días)	PESO 1 (g)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	AREA APROX. (cm2)	DENSIDAD (kg/cm3)	PESO 2 (g)	C. DE ROTURA (kg)	F. DE ROTURA (kg/cm2)	CODIGO	TIPO	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
04-oct-15	25-oct-15	21	99,50	4,80	4,80	4,80	23	0,90	99,10	300	13,021	P1	1	Compresión	Edison Castillo C.
04-oct-15	25-oct-15	21	114,00	4,90	4,80	4,80	24	1,01	114,00	720	30,612	P2	1	Compresión	
04-oct-15	25-oct-15	21	119,90	4,90	4,90	4,80	24	1,04	110,00	432	17,993	P3	2	Compresión	
04-oct-15	25-oct-15	21	149,90	4,90	4,90	4,90	24	1,27	146,50	696	28,988	P4	2	Compresión	
04-oct-15	25-oct-15	21	135,20	5,00	5,00	5,00	25	1,08	134,90	1.350	54,000	P5	3	Compresión	
04-oct-15	25-oct-15	21	156,00	5,00	5,00	4,90	25	1,27	155,50	1.692	67,680	P6	3	Compresión	
10-oct-15	25-oct-15	15	579,50	19,8	14,80	1,80	293	1,10	578,00	59	0,201	F1	1	Flexión	
10-oct-15	25-oct-15	15	505,00	19,7	14,80	1,80	292	0,98	503,90	125	0,429	F2	1	Flexión	
10-oct-15	25-oct-15	15	708,60	19,9	14,90	2,10	297	1,14	708,60	162	0,546	F3	2	Flexión	
10-oct-15	25-oct-15	15	701,30	20	14,90	2,00	298	1,18	699,00	192	0,644	F4	2	Flexión	
10-oct-15	25-oct-15	15	700,80	20	15,00	1,90	300	1,23	700,10	135	0,450	F5	3	Flexión	
10-oct-15	25-oct-15	15	708,50	20,1	15,00	2,00	302	1,17	707,20	150	0,498	F6	3	Flexión	





ANEXO 7

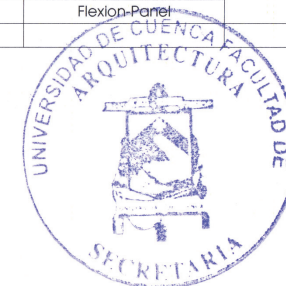
 <p>ENSAYOS DE MÓDULO DE RUPTURA</p> <p>Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca</p> <p>Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas</p> <p>Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350,</p>		Número:	0002	
		Fecha de creación:	05/12/2015	
		Fecha de revisión:	11/07/2016	
		Año lectivo:	2015-2016	
		Responsable:	Edison Castillo	

Proyecto: Panel prefabricado a base de fibras naturales

Solicitado por: Andrés Peña Romero



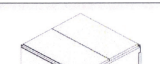
FECHA DE CONFECCION	FECHA DE ROTURA	EDAD ENSAYO (días)	PESO 1 (g)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	DENSIDAD (kg/cm3)	PESO 2 (g)	P. HUMEDAD (%)	C. DE ROTURA (kg)	M. DE RUPTURA (kg/cm2)	CODIGO	TIPO	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
05-oct-15	26-oct-15	21	448,00	19,70	15,00	2,10	0,72	442,00	—	89	32,290	H1	1	Flexion-Muestras	Edison Castillo C.
05-oct-15	26-oct-15	21	445,00	19,90	15,00	2,10	0,71	438,00	—	88	31,930	H2	1	Flexion-Muestras	
05-oct-15	26-oct-15	21	442,00	20,00	15,00	2,20	0,67	436,00	—	90	29,750	H3	2	Flexion-Muestras	
05-oct-15	26-oct-15	21	440,00	198,00	15,00	2,20	0,67	435,00	—	91	30,080	H4	2	Flexion-Muestras	
05-oct-15	26-oct-15	21	447,00	19,90	15,00	2,20	0,68	441,00	—	76	25,120	H5	3	Flexion-Muestras	
05-oct-15	26-oct-15	21	440,00	19,90	15,00	2,20	0,68	440,00	—	75	24,790	H6	3	Flexion-Muestras	
28-oct-15	14-nov-15	15	595,20	19,6	15,00	3,00	0,67	589,80	6,00	150	26,670	M1	4	Flexion-Muestras	
28-oct-15	14-nov-15	15	590,60	19,9	15,00	3,00	0,66	584,60	7,16	155	27,560	M2	4	Flexion-Muestras	
28-oct-15	14-nov-15	15	585,20	20	15,00	2,10	0,93	579,90	6,02	99	35,920	M3	5	Flexion-Muestras	
28-oct-15	14-nov-15	15	582,10	19,75	15,00	2,10	0,94	576,30	5,35	104	37,730	M4	5	Flexion-Muestras	
28-oct-15	14-nov-15	15	763,00	20	15,00	2,50	1,16	557,70	5,88	127	41,980	M5	6	Flexion-Muestras	
28-oct-15	14-nov-15	15	746,50	20	15,00	2,50	1,13	740,90	6,55	122	40,430	M6	6	Flexion-Muestras	
20-nov-15	05-dic-15	15	696,20	30	15,00	2,20	0,70	662,8	5,94	120	59,500	PNL 1,1	7	Flexion-Panel	
20-nov-15	05-dic-15	15	692,60	30	15,00	2,20	0,70	664,4	4,14	126	63,470	PNL 1,2	7	Flexion-Panel	
20-nov-15	05-dic-15	15	699,90	30	15,00	2,20	0,71	698,3	7,74	123	60,990	PNL 1,3	7	Flexion-Panel	
20-nov-15	05-dic-15	15	656,50	30	15,00	2,20	0,56	654,7	5,94	115	57,020	PNL 2,1	8	Flexion-Panel	
20-nov-15	05-dic-15	15	687,30	30	15,00	2,20	0,89	687,1	5,2	98	48,600	PNL 2,2	8	Flexion-Panel	
20-nov-15	05-dic-15	15	678,10	30	15,00	2,20	0,68	677,7	6,54	90	44,630	PNL 2,3	8	Flexion-Panel	

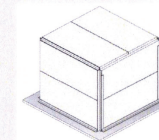
Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150





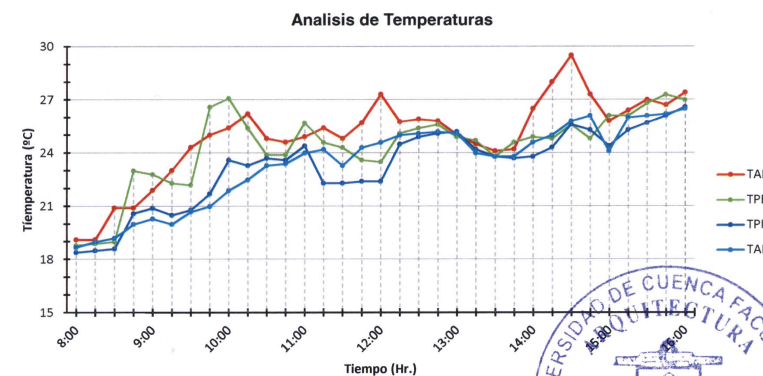
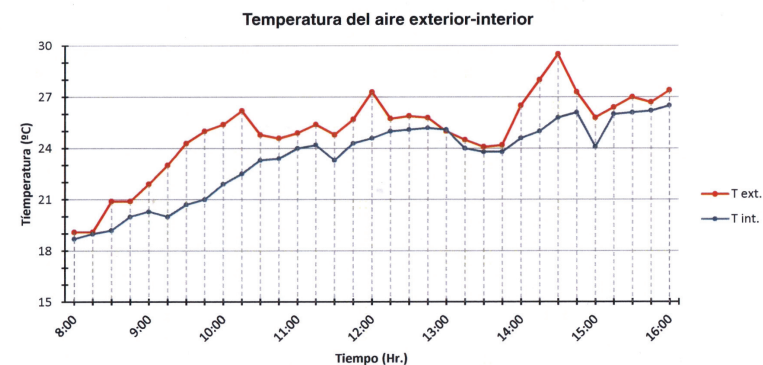
ANEXO 8

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Cuenca - Ecuador	ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO				Número:	0003	
	Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca				Fecha de creación:	26/11/2016	
	Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas				Fecha de revisión:	30/11/2016	
	Instrumento tipo: Estación meteorológica: (Delta OHM HD 32.3) , Anemómetro: (Kestrel 4000), Pirómetro: (Infrared thermometer OS425-LS)				Año lectivo:	2015-2016	
					Responsable:	Edison Castillo	



Proyecto: Panel prefabricado a base de fibras naturales
Solicitado por: Andrés Peña Romero

Fecha	HORA	Temperatura Aire Ext. (°C)	Temperatura Aire Int. (°C)	Temperatura Placa Ext. (°C)	Temperatura Placa Int. (°C)	Humedad Aire Ext. (%)	Humedad Aire Int. (%)	Velocidad Viento Ext. (m/s)
27-nov-15	8 h 00	19,1	18,7	18,8	18,4	58,2	57,6	0
27-nov-15	8 h 15	19,1	19	18,9	18,5	58,3	56	0,2
27-nov-15	8 h 30	20,9	19,2	19	18,6	59	51,8	0,1
27-nov-15	8 h 45	20,9	20	23	20,6	59,1	47,4	0
27-nov-15	9 h 00	21,9	20,3	22,8	20,9	58,6	47,3	0,3
27-nov-15	9 h 15	23	20	22,3	20,5	57,2	45,5	0
27-nov-15	9 h 30	24,3	20,7	22,2	20,8	57	45,5	0
27-nov-15	9 h 45	25	21	26,6	21,7	55,6	44,9	0,4
27-nov-15	10 h 00	25,4	21,9	27,1	23,6	57,1	39,8	0
27-nov-15	10 h 15	26,2	22,5	25,4	23,3	55	37,4	0
27-nov-15	10 h 30	24,8	23,3	23,9	23,7	60	39,5	0
27-nov-15	10 h 45	24,6	23,4	23,9	23,6	59	39,1	0
27-nov-15	11 h 00	24,9	24	25,7	24,4	58,2	40,7	0,3
27-nov-15	11 h 15	25,4	24,2	24,6	22,3	56	40,5	0,5
27-nov-15	11 h 30	24,8	23,3	24,3	22,3	54,2	40,3	0
27-nov-15	11 h 45	25,7	24,3	23,6	22,4	55,7	38	0,2
27-nov-15	12 h 00	27,3	24,6	23,5	22,4	56,6	35,5	0
27-nov-15	12 h 15	25,75	25	25,1	24,5	57	36,7	0,5
27-nov-15	12 h 30	25,9	25,1	25,4	24,9	56	38,7	0,8
27-nov-15	12 h 45	25,8	25,2	25,6	25,1	58	38,7	0
27-nov-15	13 h 00	25	25,1	24,9	25,2	51,9	39,5	0
27-nov-15	13 h 15	24,5	24	24,7	24,2	52	40,2	0,4
27-nov-15	13 h 30	24,1	23,8	23,8	23,8	52,5	42,3	0
27-nov-15	13 h 45	24,2	23,8	24,6	23,7	55	41	1
27-nov-15	14 h 00	26,5	24,6	24,9	23,8	53	36,7	0,7
27-nov-15	14 h 15	28	25	24,8	24,3	55	35,2	0
27-nov-15	14 h 30	29,5	25,8	25,6	25,6	56,4	32,6	0,3
27-nov-15	14 h 45	27,3	26,1	24,8	25,3	55,4	33,2	0
27-nov-15	15 h 00	25,8	24,1	26,1	24,4	54	35,7	0,8
27-nov-15	15 h 15	26,4	26	26,1	25,3	54,3	35,1	0
27-nov-15	15 h 30	27	26,1	26,8	25,7	53,7	34,1	0
27-nov-15	15 h 45	26,7	26,2	27,3	26,1	53,7	35,7	0
27-nov-15	16 h 00	27,4	26,5	27	26,6	54,2	34	0,8
PROMEDIOS		24,9	23,4	24,3	23,2	23,0	22,1	0,2


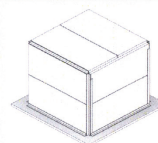



Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas.
edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150



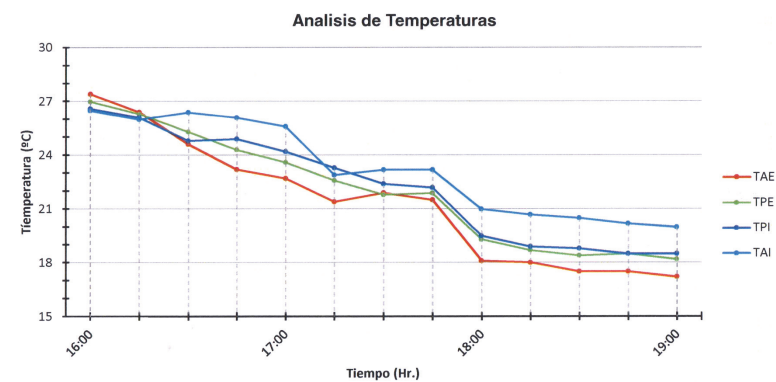
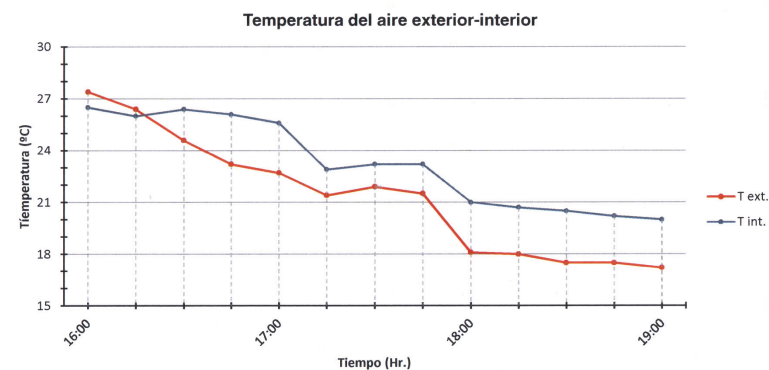


ANEXO 9

	ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO		
	Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca		
	Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas		
	Instrumento tipo: Estación meteorológica: (Delta OHM HD 32.3) , Anemómetro: (Kestrel 4000), Pirómetro: (Infrared thermometer OS425-LS)		
			Número: 0003.1 Fecha de creación: 26/11/2016 Fecha de revisión: 30/11/2016 Año lectivo: 2015-2016 Responsable: Edison Castillo

Proyecto: Panel prefabricado a base de fibras naturales
Solicitado por: Andrés Peña Romero



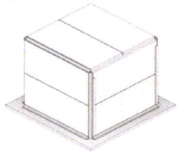
DÍA	HORA	Temperatura Aire Ext. (°C)	Temperatura Aire Int. (°C)	Temperatura Placa Ext. (°C)	Temperatura Placa Int. (°C)	Humedad Aire Ext. (%)	Humedad Aire Int. (%)	Velocidad Viento Ext. (m/s)
30-nov-15	16 h 15	26,4	26	26,3	26,1	52,9	41,7	0,3
30-nov-15	16 h 30	24,6	26,4	25,3	24,8	53,6	45	0,5
30-nov-15	16 h 45	23,2	26,1	24,3	24,9	53,2	49,2	0,7
30-nov-15	17 h 00	22,7	25,6	23,6	24,2	54,2	50,8	0,9
30-nov-15	17 h 15	21,4	22,9	22,6	23,3	57,2	56,8	0,4
30-nov-15	17 h 30	21,9	23,2	21,8	22,4	55,9	56,8	1
30-nov-15	17 h 45	21,5	23,2	21,9	22,2	55,2	56	0
30-nov-15	18 h 00	18,1	21	19,3	19,5	54,9	56,7	0,7
30-nov-15	18 h 15	18	20,7	18,7	18,9	54,6	57,5	0,2
30-nov-15	18 h 30	17,5	20,5	18,4	18,8	55	56,8	0,5
30-nov-15	18 h 45	17,5	20,2	18,5	18,5	57	57,5	0,3
30-nov-15	19 h 00	17,2	20	18,2	18,5	59	55	0
PROMEDIOS		20,8	23,0	21,6	21,8	23,0	22,1	0,5



Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas.
edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150



ANEXO 10

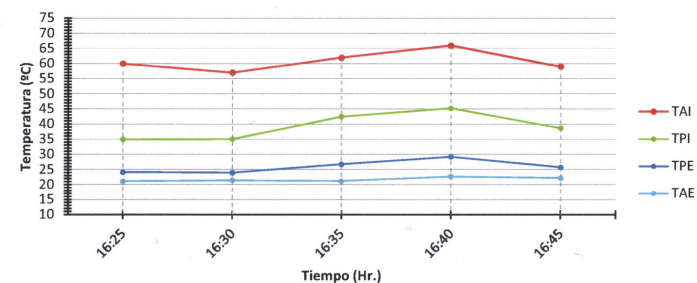
	ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			Número: 0004	
	Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca			Fecha de creación: 1/12/2015	
	Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas			Fecha de revisión: 1/12/2015	
	Instrumento tipo: Anemómetro: (Kestrel 4000), Pirómetro: (Infrared thermometer OS425-LS)			Año lectivo: 2015-2016	
				Responsable: Edison Castillo	

Proyecto: Panel prefabricado a base de fibras naturales

Solicitado por: Andrés Peña Romero

HORA	Temperatura Aire Ext. (°C)	Temperatura Aire Int. (°C)	Temperatura Placa Ext. (°C)	Temperatura Placa Int. (°C)	Q	R	k (W/Mk)
16:25	21,2	60	24,2	35	9,04	1,19	0,050
16:30	21,5	57	24	35,1	7,54	1,47	0,040
16:35	21,3	62	26,8	42,5	16,58	0,95	0,062
16:40	22,8	66	29,3	45,3	19,59	0,82	0,072
16:45	22,3	59	25,8	38,7	10,55	1,22	0,048
PROMEDIOS	21,8	60,8	26,0	39,3	12,7	1,1	0,055

Análisis de aislamiento térmico.



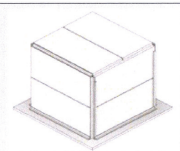


Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec., 0983367390, 4051102 ext. 2150





ANEXO 11

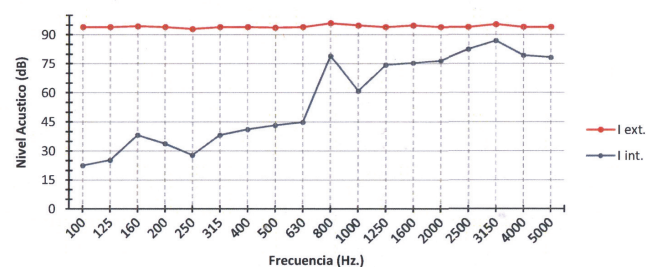
 <p>ENSAYOS DE AISLAMIENTO ACUSTICO</p> <p>Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca</p> <p>Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas</p> <p>Instrumento tipo: Sonómetro: (Casella El OS425-LS)</p>		Número: 0005 Fecha de creación: 13/1/2016 Fecha de revisión: 13/1/2016 Año lectivo: 2015-2016 Responsable: Edison Castillo	
--	---	--	---

Proyecto: Panel prefabricado a base de fibras naturales

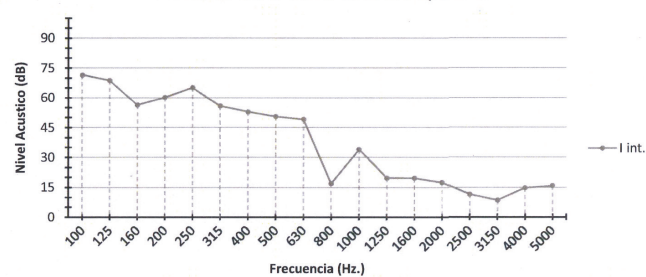
Solicitado por: Andrés Peña Romero

TIEMPO	Frecuencia inicial (Hz.)	Nivel Acustico Ext. (Db)	Ruido Fuente Ext. (Db)	Nivel Acustico Receptor (Db)	Aislamiento Acustico Bruto (Db)
19:46:00	SF	94	50	96	—
19:46:30	SF	94	50	104,6	—
19:47:00	SF	94	50	107,2	—
19:47:30	SF	94	50	101,3	—
19:48:00	SF	94	50	101	—
19:48:30	SF	94	50	94,3	—
19:49:00	100	94	50	22,5	71,5
19:49:30	125	94	50	25,3	68,7
19:50:00	160	94,5	50	38,2	56,3
19:50:30	200	94	50	33,8	60,2
19:51:00	250	93	50	27,9	65,1
19:51:30	315	94	50	38,2	55,8
19:52:00	400	94	50	41,1	52,9
19:52:30	500	93,7	50	43,2	50,5
19:53:00	630	94	50	44,9	49,1
19:53:30	800	96	50	79,1	16,9
19:54:00	1000	94,9	50	60,9	34
19:54:30	1250	94	50	74,3	19,7
19:55:00	1600	94,9	50	75,3	19,6
19:55:30	2000	94	50	76,6	17,4
19:56:00	2500	94	50	82,5	11,5
19:56:30	3150	95,4	50	86,9	8,5
19:57:00	4000	94	50	79,3	14,7
19:57:30	5000	94	50	78,3	15,7
19:58:00	SF	94	50	91,3	—
19:58:30	SF	94	50	94,9	—

Análisis de aislamiento acústico.



Índice de aislamiento acústico aparente.



Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150



